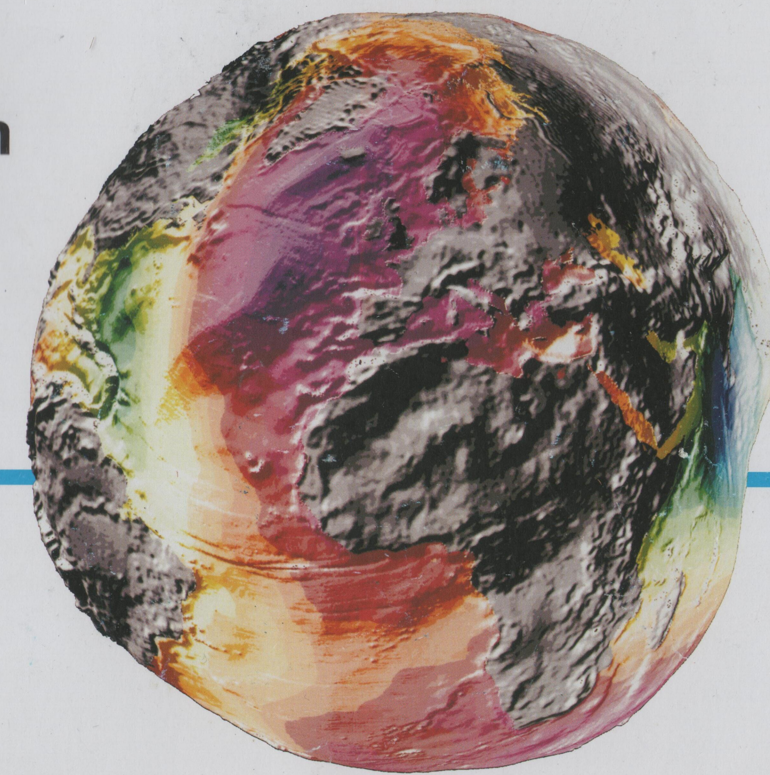
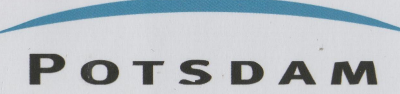


POTSDAM

Das GeoForschungsZentrum Potsdam



in der Helmholtz-Gemeinschaft



AUF EINEN BLICK

Name:	GeoForschungsZentrum Potsdam (GFZ) Stiftung des öffentlichen Rechts
Zugehörigkeit:	Hermann von Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren e. V.
Träger:	Bundesministerium für Bildung und Forschung (90%); Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kultur des Landes Brandenburg (10%)
Beschäftigte:	630, davon 315 Wissenschaftler (2004)
Gemeinsame Berufungen:	6 mit der Universität Potsdam, 4 mit der Freien Universität Berlin, 3 mit der Technischen Universität Berlin und je 1 mit der Universität Gießen, mit der Universität Stuttgart, der Technischen Universität Braunschweig und der Humboldt-Universität Berlin
Jahresetat:	34,6 Mio. € Grundfinanzierung (2003), 11,1 Mio. € Drittmittel
Wissenschaftliche Infrastruktur:	Gerätepool Geodäsie, Laserteleskop, Gerätepool Geophysik, Geomag- netische Observatorien Niemegk und Wingst, KTB-Tiefenlaboratorium Windischeschenbach, Laboratorien für chemische Analytik, Reinstluft- labors für Isotopen-Geochemie, Ionensonde, Hochdruck-Hochtempe- ratur-Experimentieranlagen, Raster- und Transmissions-Elektronenmikro- skopie, Hochleistungsrechner mit Archivroboter, Zentralbibliothek

HERZLICH WILLKOMMEN



Zum Streifzug durch das GFZ Potsdam laden Professor Dr. Dr. h. c. Rolf Emmermann (links), Wissenschaftlicher Vorstand (Vorstandsvorsitzender), und Dr. Bernhard Reiser, Administrativer Vorstand. Im Vordergrund ein geodätisches Gerät von 1851

auf dem Potsdamer Telegrafenberg, der seit über 100 Jahren renommierte Forschungseinrichtungen der Astrophysik und der Geowissenschaften beherbergt. Hier liegt mit dem 1892 errichteten Geodätischen Institut die Wiege der wissenschaftlichen Geodäsie, hier wurde die Seismologie als geophysikalische Disziplin zur Erkundung des Erdinnern mithilfe von Erdbeben entwickelt, und hier wurde – im Magnetischen Observatorium – mit einer systematischen Erforschung des Erdmagnetfeldes und seiner Variationen begonnen.

Dieser traditionsreiche Wissenschaftsstandort bot nach der deutschen Wiedervereinigung die einmalige Chance, ein neues großes Forschungszentrum für die Geowissenschaften zu etablieren und die in Ost und West gewonnenen Erfahrungen und Kenntnisse in ein zukunftsweisendes Konzept zur Erforschung unseres Planeten einzubinden. Am 1. Januar 1992 wurde das GeoForschungsZentrum Potsdam (GFZ) als nationale Forschungseinrichtung für die Geowissenschaften gegründet. Mit dieser Broschüre wollen wir einem breiteren Leserkreis über die Aktivitäten im GeoForschungsZentrum berichten. Wir laden Sie ein zu einem Streifzug, der die vielfältigen Facetten der Arbeit zeigt.

Forschungsgegenstand des GFZ Potsdam ist das „System Erde“ – der Planet, auf dem wir leben, mit seiner Geschichte, seinen Eigenschaften, den in seinem Innern und an der Oberfläche ablaufenden Prozessen sowie den Wechselwirkungen zwischen den Teilsystemen Geo-, Hydro-, Atmo- und Biosphäre. Ziel unserer Arbeit ist es, über das Verständnis der Prozesse zu einem wirksamen Geo- und Umweltmanagement zu gelangen und zur Lösung aktueller Probleme von globaler Bedeutung beizutragen. Dabei geht es etwa um die Verfügbarkeit natürlicher Ressourcen, die Vorsorge vor Naturkatastrophen, die Auswirkungen der menschlichen Tätigkeit auf natürliche Kreisläufe, auf Umwelt und Klima.

Erst seit wenigen Jahren sind die Geowissenschaften durch die rasante Entwicklung in der Messtechnik und der Computertechnologie in der Lage, das Puzzle der gesammelten Daten und Informationen zu einem Gesamtbild zusammenzusetzen. Häufig erschwert jedoch die Trennung in Einzeldisziplinen das Bemühen, das „System Erde“ als Ganzes zu verstehen. Mit der Gründung des GFZ Potsdam wurde deshalb versucht, traditionelle Fachgrenzen zu überwinden und die verschiedenen geowissenschaftlichen Disziplinen in einem multi- und interdisziplinären Forschungsverbund zusammenzufassen.

So reicht das wissenschaftliche Instrumentarium von Bohrgeräten bis zu eigenen Erdsatelliten, von seismischen Geräten, die zu hunderten gleichzeitig Erderschütterungen registrieren, bis zu speziellen Pressen, in denen Gesteinsproben im Labor unter Bedingungen untersucht werden, wie sie unerreichbar tief unter der Erdoberfläche herrschen. Lassen Sie sich überraschen, wie vielfältig die von GFZ-Forschern angegangenen Fragestellungen sind und welch breites Spektrum an Methoden und Techniken eingesetzt wird! Naturgemäß kann hier nur eine kleine Auswahl von Projekten erwähnt werden.

Besonders hinweisen möchten wir auf das letzte Kapitel über das GFZ Potsdam als Drehscheibe der internationalen Kommunikation und Kooperation in den Geowissenschaften. Geoforschung ist global und international. Als aktiver Partner vertritt das GeoForschungsZentrum die Bundesrepublik Deutschland in zahlreichen internationalen Programmen und Kooperationen.

Wir wünschen Ihnen viel Spaß bei der Lektüre!

Professor Dr. Dr. h.c. Rolf Emmermann Dr. Bernhard Raiser

Geowissenschaften auf dem Telegrafenberg

1832 In Potsdam wird eine von 61 Telegrafenstationen errichtet, die optische Signale von Berlin nach Koblenz übermitteln. Der Telegrafenberg erhält seinen Namen.

1870 Gründung des Königlich Preußischen Geodätischen Instituts in Berlin unter Leitung des Generalleutnants Johann Jacob Baeyer. Sein Nachfolger Friedrich Robert Helmert begründet nach dem Umzug den Ruf Potsdams als Weltzentrum für Geodäsie und Gravitationsforschung.

1889 Dem Potsdamer Wissenschaftler Ernst von Rebeur-Paschwitz gelingt als Erstem die Aufzeichnung eines fernen Erdbebens.

1890 Gründung des Magnetischen Observatoriums Potsdam.

1892 Das Geodätische Institut auf dem Telegrafenberg wird eingeweiht.

1898-1904 Absolutbestimmung der Erdschwere. Der Potsdamer Schwerewert wird 1909 als internationale Bezugsgröße anerkannt und erfüllt diese Funktion bis 1971.

1930 Umzug des Observatoriums für Erdmagnetismus nach Niemegk, 45 Kilometer südwestlich von Potsdam.

1933 Die ersten beiden Quarzuhren für den offiziellen Zeitdienst werden in Betrieb genommen – Voraussetzung, um Schwankungen der Erdrotation zu beobachten.

1969 Zusammenfassung der Geodätischen und Geomagnetischen Institute Potsdam, des Geotektonischen Instituts Berlin und des Geodynamischen Instituts Jena zum Zentralinstitut für Physik der Erde in der ehemaligen DDR.

1985 Erdbebenkatalog der DDR für die Jahre 823 bis 1984.

1992 Das GeoForschungsZentrum Potsdam (GFZ) wird gegründet.

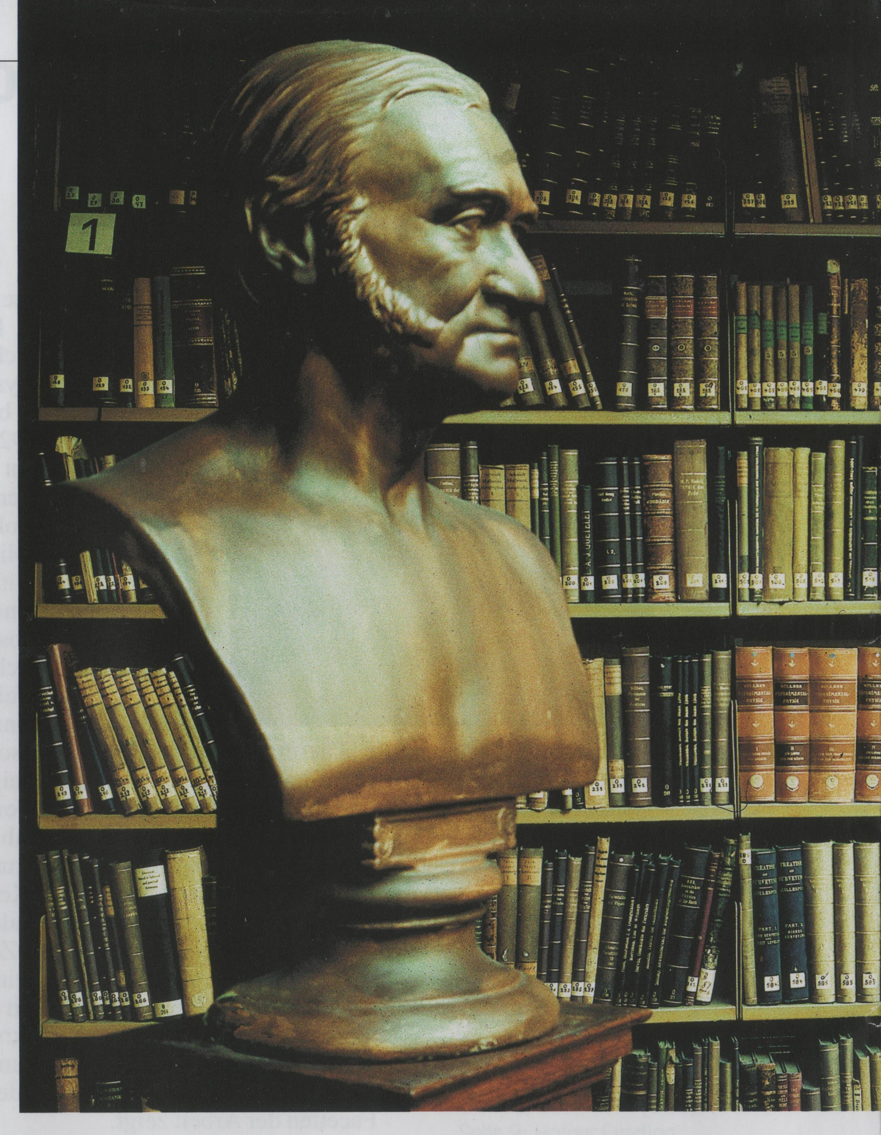
1995 Start des ersten Satelliten des GeoForschungsZentrums (GFZ-1).

1996 Beginn des Internationalen Kontinentalen Bohrprogramms ICDP, in dem das GFZ Potsdam die Federführung hat.

1998 Einweihung des Neubau-Komplexes für das GFZ Potsdam.

Internationale Early Warning Conference (EWC '98) im GFZ Potsdam über Systeme zur Frühwarnung vor Naturkatastrophen.

2000 Start des Geoforschungssatelliten CHAMP.



Das ehrwürdige Erbe

Das 1892 errichtete frühere Geodätische Institut fungierte bis zur Fertigstellung der Neubauten als Hauptgebäude des GFZ Potsdam. Neben historischem Buchbestand sind dort alte geodätische Geräte erhalten. Die Büste in der Bibliothek zeigt Carl Friedrich Gauß, einen der Pioniere in der Erforschung des Erdmagnetismus



INHALT

Das deutsche ForschungsZentrum für Geowissenschaften

Als am 1. Januar 1992 das GeoForschungsZentrum Potsdam gegründet wurde, erfüllte sich für viele deutsche Geowissenschaftler ein lange gehegter Wunsch. Im Ringen um die Neustrukturierung der Forschungslandschaft in der ehemaligen DDR entstand, vom Wissenschaftsrat empfohlen und von den zuständigen Ministern des Bundes und des Landes Brandenburg beschlossen, eine Forschungseinrichtung, die

- ein breites Spektrum von geowissenschaftlichen Disziplinen umfasst,
- in fachübergreifendem Verbund zukunftsweisende Forschungsfelder aufgreift und mit neuen wissenschaftlichen, methodischen und organisatorischen Ansätzen bearbeitet,
- das auf viele deutsche Universitätsinstitute verteilte Potenzial an Geoforschung zusammenführt und in große Gemeinschaftsprojekte einbindet und
- die Bundesrepublik Deutschland in internationalen Projekten von globaler Bedeutung als aktiver Partner vertritt.

Zu Beginn des 21. Jahrhunderts steht die Menschheit vor großen Problemen durch den maßlosen Umgang mit ihrem Lebensraum. Die Weltbevölkerung nimmt zu, die Weltwirtschaft wächst. Selbst wo die Einwohnerzahlen stabil oder gar rückläufig sind, erwarten Politiker und Ökonomen ständiges Wirtschaftswachstum.

Eindringlich stellen sich daher Fragen nach der nachhaltigen Gewinnung und Sicherung von Trinkwasser sowie von Energie- und anderen Rohstoffen, nach sicheren Deponien für Abfall- und Schadstoffe, nach der Klima- und Umweltentwicklung. Naturkatastrophen wie Erdbeben, Vulkanausbrüche, Hangrutschungen oder Überflutungen bedrohen auf unserem immer dichter besiedelten Planeten immer mehr Erdbewohner. So ist abzusehen, dass schon in Kürze mehr als 300 Millionen Menschen in Megastädten wohnen werden, die in einer aktiven Erdbebenzone oder nur weniger als 200 Kilometer entfernt davon liegen.

Vor diesem Hintergrund ergibt sich als zentrale Zukunftsaufgabe der Geowissenschaften, den Lebensraum des Menschen zu verstehen, zu seiner umweltverträglichen Nutzung sowie zum Schutz der Umwelt beizutragen. Konzepte zur Vorsorge vor Naturkatastrophen wie zur Minderung ihrer Folgen müssen entwickelt werden. Im Mittelpunkt der Forschungsarbeiten im GFZ Potsdam steht daher das „System Erde" mit den physikalischen, chemischen und auch biologischen Prozessen, die im Erdinneren und an der Oberfläche ablaufen, und mit den zahllosen Wechselwirkungen zwischen den Teilen des Ganzen: zwischen der festen Erde (Geosphäre) und den Bereichen des Wassers (Hydrosphäre), des Eises (Kryosphäre), der Luft (Atmosphäre) und des Lebens (Biosphäre).

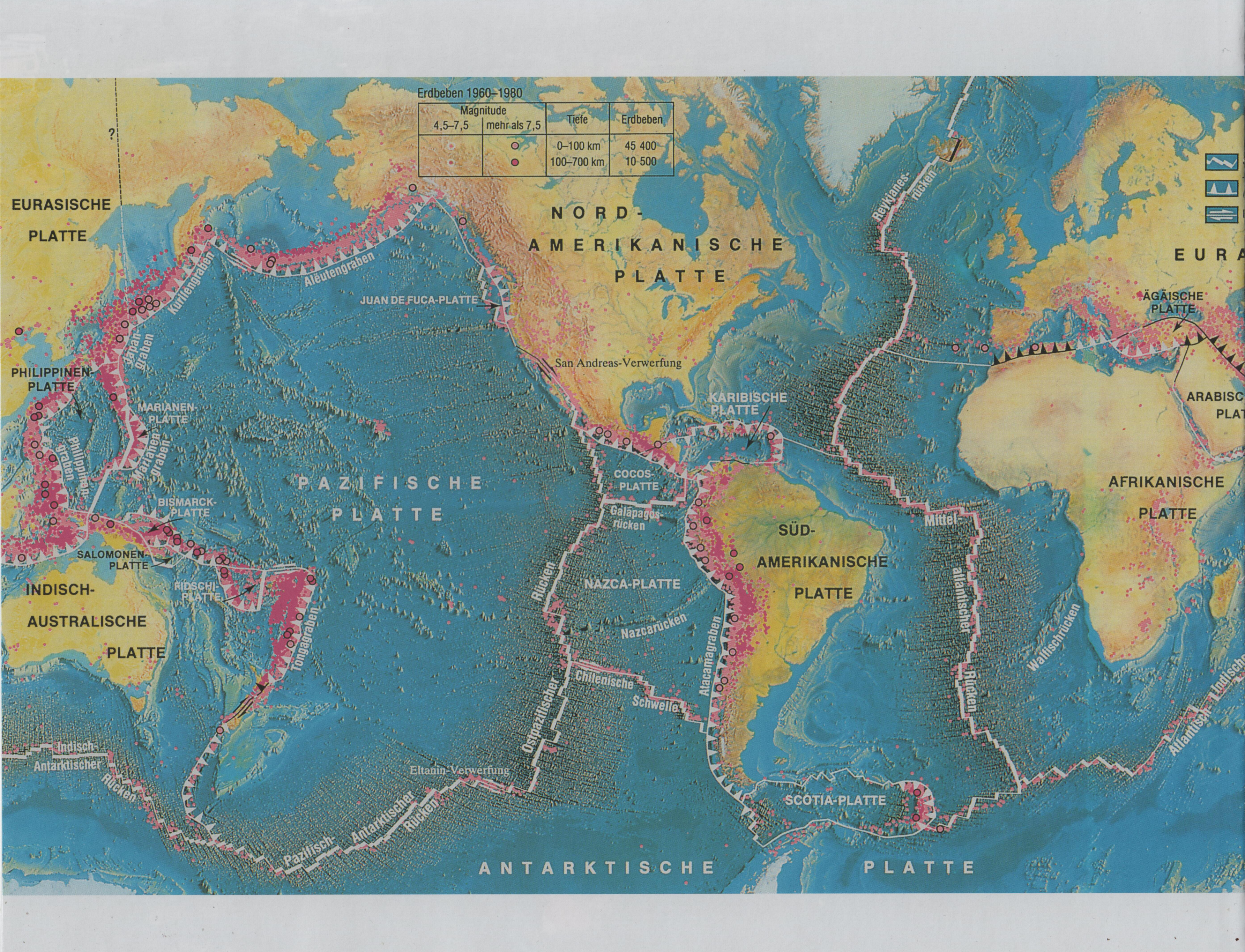
Die Erde verstehen lernen – das bedeutet noch viele Rätsel zu lösen. Immerhin forschen Geowissenschaftler heute in einem



Weltweit aktiv

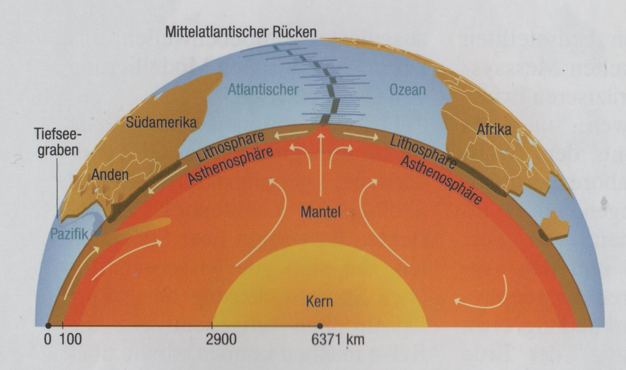
Neben dem 1998 eingeweihten Neubau-Komplex (Gebäudereihe Bildmitte rechts) auf dem Potsdamer Telegrafenberg beherbergt auch das 1892 eingeweihte Gebäude des Königlich Preußischen Geodätischen Instituts (unten) Wissenschaftler des GFZ Potsdam. Vor dem Haupteingang: das Säulenforum mit seinen Gesteinen von allen Kontinenten symbolisiert die weltweiten Aktivitäten





Erdbeben 1960–1980
Magnitude
4,5–7,5
mehr als 7,5
Tiefe
Erdbeben
0–100 km
45 400
100–700 km
10 500
EURASISCHE PLATTE
NORD-AMERIKANISCHE PLATTE
EURA
ÄGÄISCHE PLATTE
ARABISCHE PLATTE
PHILIPPINEN-PLATTE
Kurilengraben
Aleutengraben
Japangraben
JUAN DE FUCA-PLATTE
San Andreas-Verwerfung
Reykjanes-rücken
MARIANEN-PLATTE
Marianengraben
Philippinengraben
KARIBISCHE PLATTE
COCOS-PLATTE
Galápagos-rücken
PAZIFISCHE PLATTE
BISMARCK-PLATTE
SALOMONEN-PLATTE
FIDSCHI-PLATTE
INDISCH-AUSTRALISCHE PLATTE
Tongagraben
NAZCA-PLATTE
Nazcarücken
SÜD-AMERIKANISCHE PLATTE
AFRIKANISCHE PLATTE
Mittelatlantischer Rücken
Walfischrücken
Atacamagraben
Chilenische Schwelle
Ostpazifischer Rücken
Eltanin-Verwerfung
Indisch-Antarktischer Rücken
Pazifisch-Antarktischer Rücken
SCOTIA-PLATTE
Atlantisch-Indischer Rücken
ANTARKTISCHE PLATTE





Wärmemaschine Erde

Die äußere Hülle der Erde, die Lithosphäre, besteht aus mächtigen um die Erde treibenden Platten, an deren Rändern immer wieder die Erde bebt. Die Karte zeigt die Beben von 20 Jahren. Durch die driftenden Platten läßt sich auch die Lage vieler Vulkane, die Bildung von Gebirgen und das Vorkommen von Tiefseegräben sowie die Entstehung zahlreicher Lagerstätten erklären. Wärme aus dem Erdinnern treibt die Platten an

breiten, in den letzten Jahrzehnten gewachsenen Konsens über die Natur ihres Untersuchungsobjekts.

Unter einer dünnen Kruste liegt der mächtige Erdmantel aus schwererem Gestein, der den Kern aus feurigem Eisen – außen glutflüssig und innen fest – umschließt. Die Erde, wegen ihrer schalenförmigen Struktur oft mit einer Zwiebel verglichen, ist eine Wärmemaschine. Die Wärme entsteht beim Zerfall radioaktiver Elemente, im Kern zudem beim „Ausfrieren“ von Eisen: An das feste Innere lagern sich Eisenteilchen aus der umgebenden Schmelze ab. Beim Übergang vom flüssigen in den festen Zustand wird Wärme frei, so wie Wasser Wärme abgibt, wenn es gefriert (und umgekehrt Wärme erforderlich ist, damit Eis taut).

Die im Innern der Erde ständig produzierte Wärme wird nach außen abgeleitet. Der Erdmantel ist zwar ein schlechter Wärmeleiter, aber Konvektionsbewegungen fördern den Energietransport. Dabei reagiert das Mantelgestein wie eine leicht plastische Masse. Wo es besonders stark erhitzt wird, dehnt es sich stärker aus, wird leichter als das umgebende Gestein und drängt nach oben. Kühleres, schwereres Gestein hingegen sinkt von oben herab.

100 bis 200 Kilometer unter der Erdoberfläche endet diese Art Aufstieg, und dort wird das Gesicht der Erde entscheidend geprägt. Auf dem Weg nach oben hat der Druck, dem das Mantelgestein ausgesetzt war, immer weiter abgenommen, und damit sind auch die Schmelztemperaturen der Minerale gesunken. Aus den wärmeempfindlichsten Mineralen bildet sich ein „basaltischer“ Glutfluss, der weiter aufsteigt. Der widerstandsfähigere große Rest fließt langsam seitwärts und nimmt das darüber liegende oberste Mantelgestein und die Kruste, zusammen als „Lithosphäre“ (Steinhülle) bezeichnet, huckepack mit. Die Kruste, insbesondere die kontinentale Kruste, „schwimmt“ oben, weil sie leichter ist als der Erdmantel.

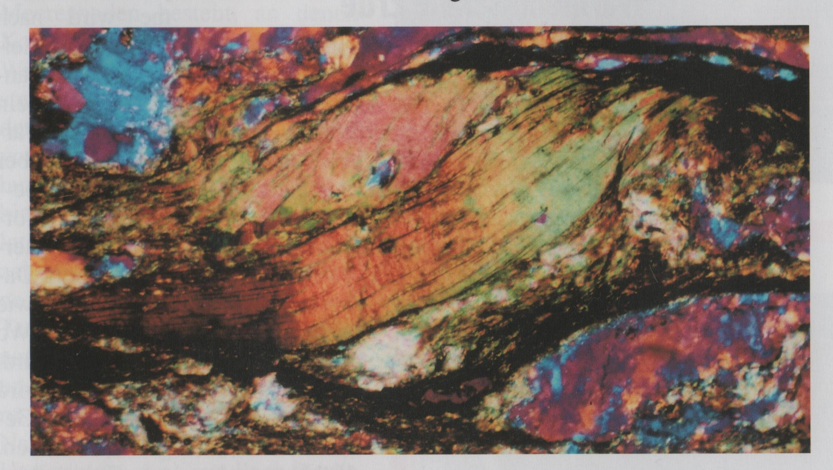
Die Entdeckung, dass die äußere Hülle unseres Planeten aus einem Mosaik von Lithosphären-Platten besteht, die mit einer Geschwindigkeit von einigen Zentimetern pro Jahr um die Erde treiben, hat die Geowissenschaften revolutioniert. Die Platten wachsen in den Scheitelgräben der Mittelozeanischen Rücken, wo sich aufsteigende und erstarrende Lava an die nach beiden Seiten davontreibende Lithosphäre ansetzt. Tiefseegräben markieren Zonen, in denen jeweils eine Platte unter eine andere gleitet, schräg abwärts in den tieferen Mantel. Die meisten Gebirge sind bei Kollisionen noch aktiver oder ehemaliger Plattenränder aufgetürmt worden. Wo Platten aufeinander treffen oder sich gegeneinander verschieben, kommt es immer wieder zu schweren Erdbeben.

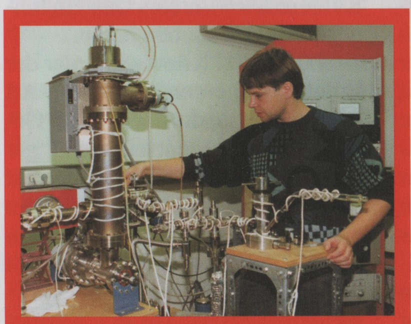
Die „Plattentektonik“, die Lehre von den driftenden, letztlich durch Wärme aus dem Erdkern angetriebenen Platten, erwies sich als überaus fruchtbares Konzept, das

bis dahin isoliert betrachtete Erscheinungen wie Gebirgsbildung und Erdbeben, Vulkanismus und Entstehung von Erzlagerstätten miteinander verband und sogar Klimaänderungen zu erklären vermag. Eine überraschende Erkenntnis war, dass die Ozeane, bis dahin für ewig unveränderlich gehalten, in immer wieder neuen Konstellationen gebildet werden und daher relativ jung sind, während die Kontinente, im Laufe der Erdgeschichte zwar vielfach zerteilt und neu kombiniert, in ihren Kernzonen seit Jahrmilliarden bestehen. Einblicke in weite Zeiträume der Erdgeschichte sind daher ausschließlich an Land zu gewinnen.

Die etwa 600 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des GeoForschungsZentrums, das Mitglied der Hermann von Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren ist, arbeiten an der Entschlüsselung des Systems Erde interdisziplinär, quasi unter einem Dach. Die Untersuchungen sind in weit gespannten räumlichen wie zeitlichen Dimensionen angelegt, vom Weltraum bis in den atomaren Bereich der Kristallgitter, von den Jahrmillionen geologischer Zeiträume beim Entstehen und Vergehen von Gebirgen bis zu Mikrosekunden bei Bruchvorgängen in Gesteinen. Dementsprechend breit ist das Spektrum an eingesetzten Methoden und Techniken. Das geowissenschaftliche Instrumentarium reicht von eigenen Erdsatelliten und selbst entwickelten Messsystemen zur immer präziseren Erfassung des Erdschwere- und des Erdmagnetfeldes aus dem Weltraum bis hin zu Laborexperimenten unter Bedingungen, wie sie im Erdinnern herrschen, von Forschungsbohrungen und den verschiedenen Verfahren der geophysikalischen Tiefenerkundung, etwa der „Durchleuchtung“ der Erde mithilfe natürlicher oder künstlich ausgelöster Erdbebenwellen, bis zur mathematischen Modellierung von Geoprozessen.

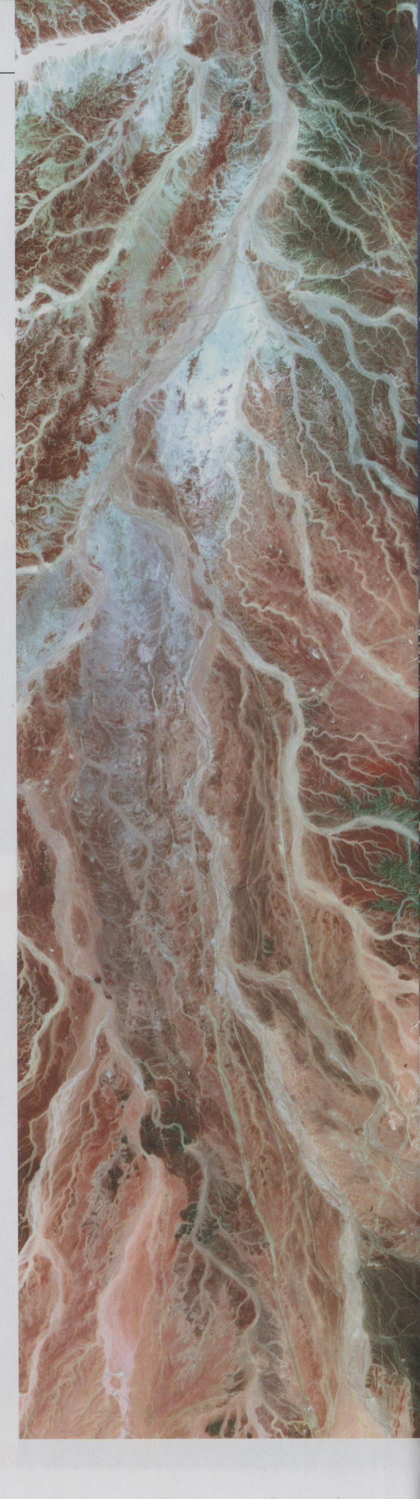
Für Expeditionen und globale Messkampagnen hat das GFZ geodätische, geophysikalische und geologische Gerätepools eingerichtet. Es verfügt über Spezialisten, die sich zur wissenschaftlichen Spurensicherung bei Naturkatastrophen umgehend auf die Reise machen können, sowie über ein Ingenieurteam für die Weiter-





Die Erde im Visier

Die Arbeiten über das System Erde reichen von Beobachtungen aus dem All (rechts) bis zu Untersuchungen von Gesteinsstrukturen. Das Bild oben zeigt einen Dünnschliff, der die plastische Verformung des Gesteins aus dem Südural dokumentiert. Mit einer komlizierten Apparatur werden aus Gesteinen Gase freigesetzt und analysiert





Satelliten-Aufnahme des südlichen Negev (Israel). Das Falschfarbenbild zeigt die von Wadis zerfurchte Landschaft

und Neuentwicklung geowissenschaftlicher Geräte.

Ein großes Zukunftspotential sehen GFZ-Forscher im Bau preisgünstiger Kleinsatelliten und hochauflösender Sensoren für langfristige Messungen und Aufgaben der Umweltüberwachung aus dem Weltraum. In einem anderen Schwerpunkt der Gerätetechnik gilt es, die rasante Entwicklung in der Mess- und der Kommunikationstechnik zu nutzen, um Daten von Messstationen an eine Zentrale zur sofortigen Auswertung zu übertragen und daraus abgeleitete Signale umgehend zu verbreiten. Solche „Echtzeit-Systeme“ sind für die Überwachung von Erdbebenzonen und Vulkanen unerlässlich, sind die Voraussetzung für die Einrichtung von Frühwarn- und „Shut-Down“-Systemen, die Industrieanlagen abschalten und gefährdete Verkehrswege automatisch sperren.

Die Komplexität der Forschungsprobleme erfordert bei interdisziplinärer Zusammenarbeit neue Organisationsformen. Das GFZ Potsdam ist daher nicht nach Fachgebieten, sondern in fünf Aufgabenbereiche gegliedert, in denen jeweils Wissenschaftler unterschiedlicher Fachgebiete zusammenarbeiten. Jeder Aufgabenbereich umfasst bis zu einem halben Dutzend Projektbereiche mit jeweils einer Reihe von Projekten.

Einige Projekte werden auf den folgenden Seiten vorgestellt.

ERDSCHWEREFELD

Präzision für eine Kartoffel

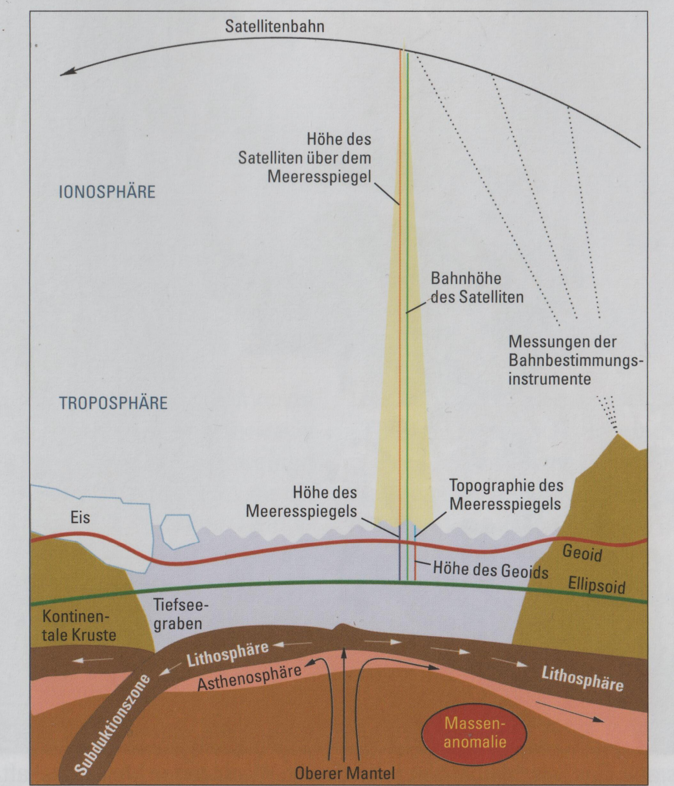
Die Erde ähnelt einer Kartoffel. Nicht nur die Kontinente haben unterschiedliche Höhen. Auch der Meeresspiegel ist nicht überall gleichmäßig weit vom Erdmittelpunkt entfernt, hat ausgedehnte Buckel und Dellen. Zu den Aufgaben des GeoForschungsZentrums Potsdam gehört es, diese unregelmäßige Form unseres Planeten möglichst präzise zu bestimmen.

Schon Isaac Newton hat berechnet, dass die rotierende Erde am Äquator dicker sein müsse als in höheren Breiten, also streng genommen keine Kugel ist. Tatsächlich beträgt ihr Durchmesser von Pol zu Pol 42 Kilometer weniger als in der Ebene des Äquators. Danach wäre sie ein Ellipsoid.

Doch auch das ist sie nur genähert. Der Meeresspiegel liegt bis zu 110 Metern unter und bis zu 85 Metern über den errechneten Werten. Ursache ist die ungleichmäßige Verteilung dichter Gesteine im Erdinnern und die dadurch bewirkte unterschiedliche Anziehung des Wassers. Experten sprechen daher vom „Geoid“. Dessen Umriss wird unter den Kontinenten durch einen fiktiven Meeresspiegel bestimmt, der aus Schweremessungen abgeleitet ist.

Die möglichst genaue Kenntnis des Geoids ist für viele Anwendungen im Vermessungswesen, in der Navigation, auch in der Raumfahrt wichtig und zur Lösung vieler Aufgaben in den modernen Geowissenschaften unabdingbar. Die ungleichmäßige Massenverteilung im Erdinnern beeinflusst die Bahnen der Erdsatelliten. Diese liefern heute sehr exakte Messungen etwa des Meeresspiegels, die für Klimaforscher von großer Bedeutung sind. Doch wirklich aussagekräftig sind die Ergebnisse nur, wenn man die Ausgangspunkte der Messungen auf den Satellitenbahnen genau bestimmen kann, und dazu ist die detaillierte Kenntnis des Geoids unabdingbar.

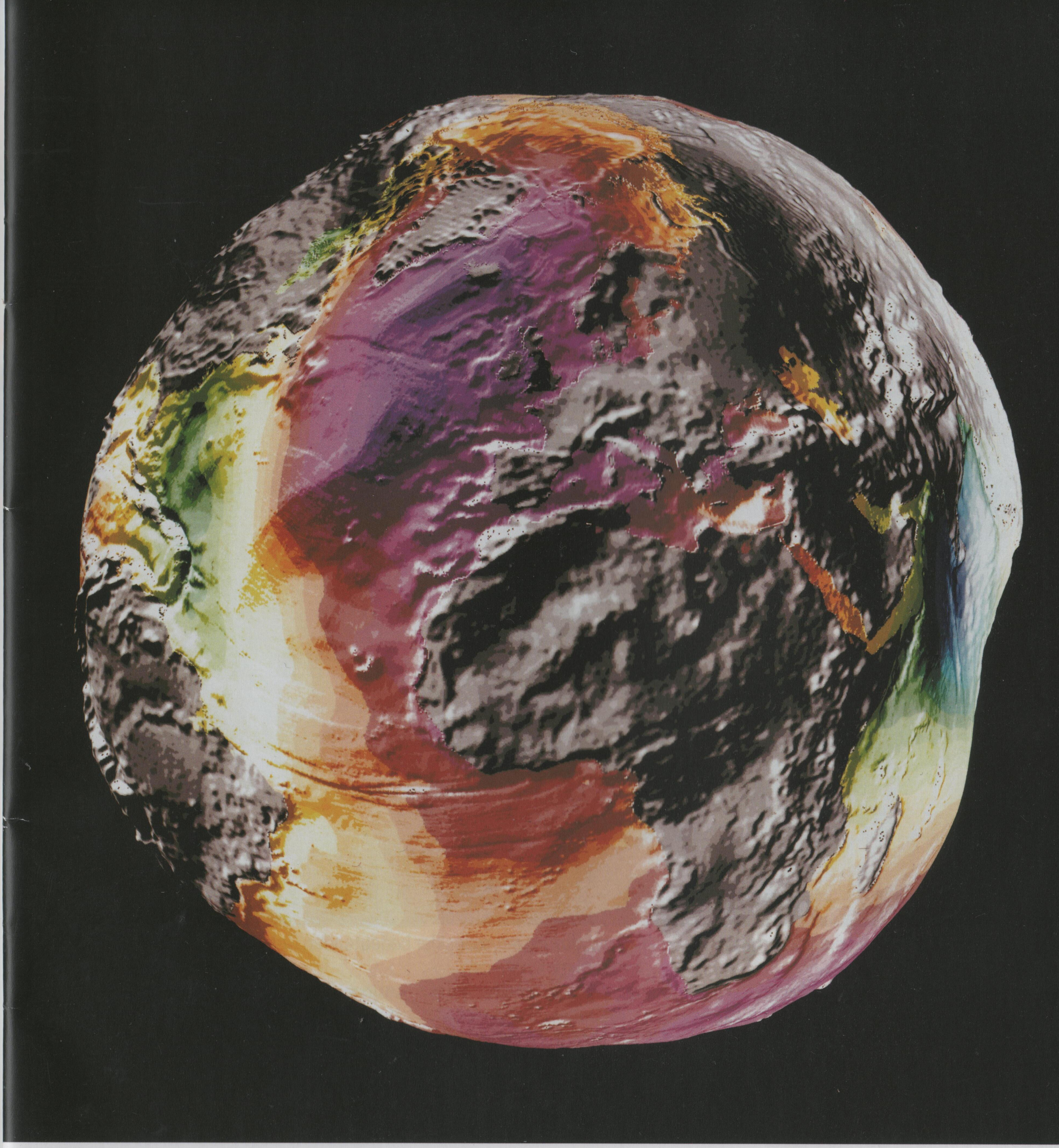
Unter maßgeblicher Beteiligung des GFZ Potsdam wurde dazu das Bahnvermessungssystem PRARE (Precise Range and Range Rate Equipment) entwickelt. An Bord eines Satelliten installiert, arbeitet PRARE in raffiniertem Zusammenspiel mit zwölf Bodenstationen mit Mikrowellen, die auch Wolken durchdringen. Immer wenn der Satellit Deutschland überfliegt, werden die gespeicherten Daten zur Auswertung an die GFZ-Kontrollstation in Oberpfaffenhofen bei München übertragen. PRARE hat sich insbesondere beim europäischen Fernerkundungssatelliten ERS-2 seit Beginn der Mission im April 1995 bewährt.





Erfolgreicher Minisatellit

Der nur fußballgroße Satellit GFZ-1 lieferte Messdaten, aus denen der Einfluss des Erdschwerefeldes auf die Satellitenbahn mit bis dahin unbekannter Präzision errechnet werden konnte. Höchste Präzision ist erforderlich, um Veränderungen von Meeresströmungen aus dem All zu erkennen. Die Zeichnung zeigt das Prinzip der Höhenmessungen über dem Meer von Satelliten aus mit den relevanten Größen



Keine Kugel und auch kein Ellipsoid, sondern ein Geoid ist die Erde: Durch präzise Schweremessungen aus dem All wurde ihre genaue Form (in der Darstellung stark überhöht) bestimmt

Speziell zur Erkundung des Schwerefeldes wurde vom GeoForschungsZentrum der fußballgroße Kleinsatellit GFZ-1 entwickelt, den 1995 Astronauten der russischen Raumstation MIR in knapp 400 Kilometer Höhe aussetzten. Jeweils beim Überfliegen einer Bodenstation wurde GFZ-1 mit Laserblitzen beschossen. Aus den Laufzeiten der reflektierten Blitze konnte die Satellitenbahn und damit der Einfluss des Schwerefeldes mit bis dahin unbekannter Präzision errechnet werden. Nach vier Jahren sehr erfolgreicher Mission verglühte der Minisatellit wie eine Sternschnuppe.

Seine Aufgabe hat der GFZ-Satellit CHAMP (siehe Seite 16) übernommen, der Schweredaten mit noch erheblich höherer Präzision liefert. Eine weitere Steigerung ist schon in Sicht: Im März 2002 starteten im Rahmen des Projekts GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) zwei CHAMP-ähnliche Satelliten, die als Tandem in 220 Kilometer Abstand hintereinander fliegen und zusammen eine höhere Messauflösung erreichen als einer allein. Diese Mission, bei der das GFZ Potsdam mit dem Center for Space Research an der University of Texas in Austin und dem Jet Propulsion Laboratory in Pasadena, Kalifornien, kooperiert, stützt sich wesentlich auf die Erfahrungen und die Infrastruktur des CHAMP-Projekts.

SATELLITEN-GEODÄSIE

Die ruhelose Erde – zentimetergenau

Mitte der siebziger Jahre hatten Experten des US-Verteidigungsministeriums eine Vision: Ein System von Erdsatelliten sollte es den Besatzungen von Kriegsschiffen, Militärflug- und fahrzeugen ermöglichen, ihre Position in jedem Winkel der Erde jederzeit genau zu bestimmen. Das daraufhin entstandene „Global Positioning System“ (GPS) haben Geowissenschaftler zu einer derartigen Präzision entwickelt, wie sie sich die Militärs seinerzeit nicht träumen ließen.

24 GPS-Satelliten auf Bahnen in gut 20 000 Kilometer Höhe gewährleisten, dass an jedem Punkt der Erdoberfläche ständig Signale von mindestens vier Satelliten zu empfangen sind. Aus den Laufzeiten kann die Entfernung zu den einzelnen Satelliten ermittelt und daraus die geographische Position einer Bodenstation zentimetergenau berechnet werden – vorausgesetzt, die Bahnen der Satelliten sind genau bekannt, und weitere Faktoren, so die Erdrotation und ihre minimalen Schwankungen, werden berücksichtigt.

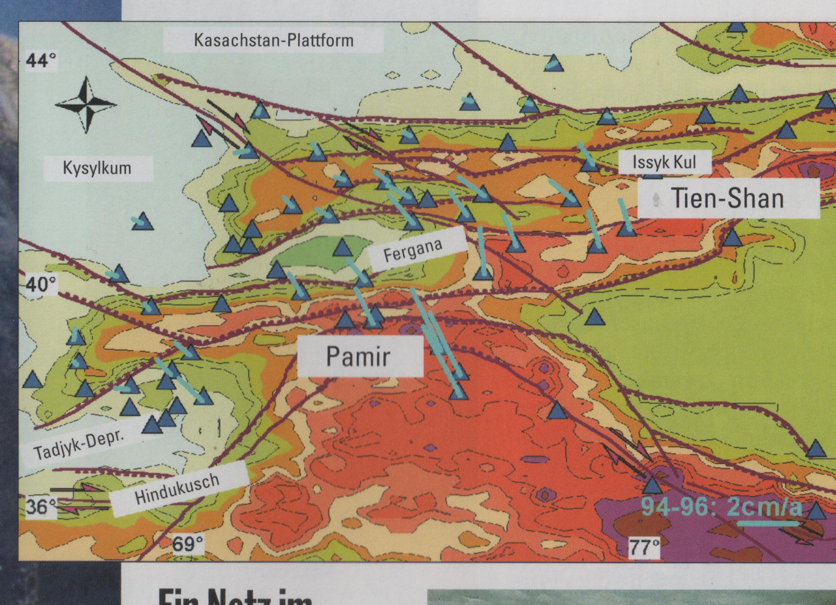


Majestätisch wirken schon die Vorberge der At-Bashi-Kette (Kirgistan), eines der bedeutenden Gebirgszüge im Tien-Shan

Um diese Vorbedingungen zu gewährleisten, wurde der Internationale GPS-Service IGS gegründet. Im Rahmen dieses Dienstes werden die Daten von etwa 200 um die Erde verteilten festen GPS-Stationen ständig gesammelt und von sieben Analysezentren ausgewertet.

Das GFZ Potsdam hat 30 ständige GPS-Stationen weltweit eingerichtet und betreibt eines der Analysezentren, von dem laufend die für hochpräzise GPS-Messungen erforderlichen aktuellen Satellitenbahn-, Erdrotations- und Bezugssystemsdaten abgerufen werden können.

Natürlich nutzen die Potsdamer Geowissenschaftler das GPS auch selbst intensiv. Dabei konzentrieren sie sich auf Regionen, in denen sich eine Platte unter eine andere schiebt und die Erde sich besonders dynamisch verändert:





Ein Netz im Innern Asiens

In Zentralasien, wo die Gebirge immer noch wachsen, haben GFZ-Forscher ein geodätisches Netz mehrfach eingemessen (blaue Dreiecke). Ein Schwerpunkt der Arbeiten liegt in Kirgistan (Foto links). Nach der Ankunft vor Ort wurden als Erstes die Messinstrumente überprüft

- den Westrand Südamerikas – eine Platte mit ozeanischer Kruste gleitet unter einen Kontinent;
- die Faltengebirgszone vom Pamir bis zum Tien-Shan in Zentralasien – Resultat einer Kollision von Kontinent gegen Kontinent;
- Südostasien – hier treffen verschiedene ozeanische und kontinentale Platten aufeinander, sodass ein komplexes Muster von sich unterschiebenden und aneinander vorbeigleitenden Platten entstanden ist.

In jedem der drei Gebiete haben GFZ-Forscher – in nationalen und internationalen Kooperationen, insbesondere auch mit ansässigen Wissenschaftlern – mithilfe mobiler GPS-Empfänger ein Netz geodätischer Fixpunkte eingemessen und markiert. Nun wird immer wieder nachgeprüft, wie sich die Erdoberfläche unter dem Druck herandrängender Platten verändert. Aus allen drei Netzen liegen spektakuläre Ergebnisse vor.

So enthüllten die Messungen ausgeprägte Punktverschiebungen nach dem schweren Beben von Antofagasta in Chile im Jahr 1995. Besonders interessant: Die Richtung und Geschwindigkeit der Deformation hat sich im Laufe der Zeit geändert.

In Zentralasien wurden innerhalb der Eurasischen Platte zwei Blöcke entdeckt – das Tarim-Becken sowie Fergana-Becken und Chatkal-Gebirge –, die unter dem Druck der Indisch-Australischen Platte langsam rotieren. Das ist der Grund, weshalb es 1500 bis 2000 Kilometer von der Kollisionszone entfernt immer wieder zu schweren Erdbeben kommt.

Das vielfältig bedrängte Südostasien, bisher als Teil der Eurasischen Platte betrachtet, erwies sich als eigenständiger „Sundaland-Südchina-Block“. Dieser Block wandert mit einer um ein Drittel höheren Geschwindigkeit als das übrige Eurasien nach Osten, woraus sich wesentliche geodynamische Konseqenzen für die Krustendeformation – und damit für die Erdbebentätigkeit – in Südostasien ergeben.

GFZ-SATELLIT CHAMP

Vielseitiger Späher

Als der Potsdamer Geoforschungssatellit CHAMP am 15. Juli 2001, ein Jahr nach seinem Start, die Erde zum 5625sten Mal umrundete, gab es allen Grund zum Feiern: Die wissenschaftlichen Geräte an Bord des Satelliten arbeiten zur vollen Zufriedenheit der Forscher; regelmäßig werden die Daten an Bodenstationen in Neustrelitz und Spitzbergen übertragen.

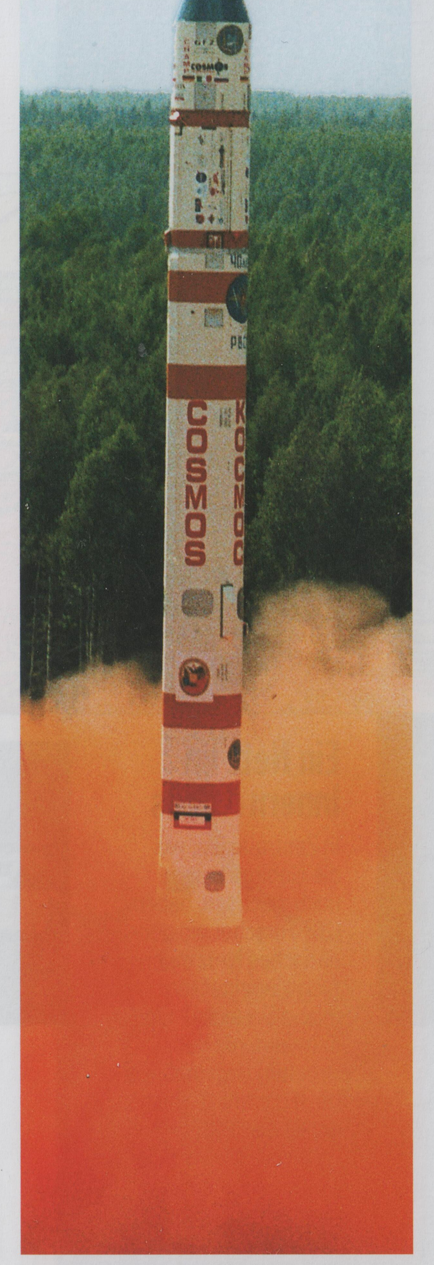
CHAMP (Challenging Minisatellite Payload) übertrifft als Kleinsatellit seinen Vorgänger GFZ-1 (siehe Seite 12) beträchtlich an Größe, und er leistet weitaus mehr. Der trapezförmige Raumflugkörper ist über vier Meter – einschließlich eines Messauslegers acht Meter – lang, einen Meter hoch und an der Basis 1,60 Meter breit. Das Gewicht beträgt 525 Kilogramm.

Aus einer relativ niedrigen Bahn von anfangs 454 Kilometern Höhe vermessen die Instrumente an Bord nicht nur laufend das Schwerefeld der Erde, sondern gleichzeitig auch das Magnetfeld. Und weil es keines großen Aufwandes bedurfte, den Satelliten für ein neues Verfahren zur Sondierung der Erdatmosphäre aus dem All auszustatten, ermittelt CHAMP auch noch die Verteilung von Temperatur, Feuchte und Druck in Tropo- und Stratosphäre sowie die Elektronendichte in der Ionosphäre.

Im Gegensatz zum Vorläufer GFZ-1 wird CHAMP zur Bestimmung seiner vom Schwerefeld der Erde beeinflussten Bahn nicht ausschließlich von Laserstationen an der Erdoberfläche angemessen, sondern zusätzlich von jeweils bis zu acht GPS-Satelliten (siehe Seite 14). Dank zusätzlicher aktiv messender Bordinstrumente lassen sich damit zehn- bis hundertmal genauere Ergebnisse erzielen.

Dadurch gewinnen die Forscher ein sehr viel präziseres Bild von Dichte- und Masseunregelmäßigkeiten im Erdinnern, was detailliertere Schlüsse auf Zusammensetzung, Struktur und Dynamik der Erde erlaubt. Messungen mit derartiger Exaktheit sind auch die Voraussetzung, Verlagerungen von Meeresströmungen, die enorme klimatische Auswirkungen haben können, durch minimale Veränderungen des Meeresspiegels festzustellen.

Auch von der Vermessung des Erdmagnetfeldes erwarten die CHAMP-Initiatoren neue Informationen aus den unzugänglichen Tiefen der Erde. Von praktischer Bedeutung sind die Messungen, weil das magnetische Moment seit Beginn der Registrierungen



Vom nordrussischen Weltraumstartplatz Plesetsk trug eine Cosmos-Rakete den GFZ-Satelliten CHAMP ins All





Vorbereitungen für die Mission

In nahezu klinischer Atmosphäre wurde der Potsdamer Geoforschungssatellit CHAMP zusammengebaut. Das Foto zeigt den Satelliten in der Startkonfiguration mit oben eingeklapptem Messausleger. Zum Empfang der Messdaten von CHAMP wurde auf Spitzbergen eine Antenne aufgebaut

vor 400 Jahren kontinuierlich abnimmt. Das Magnetfeld wird jeweils sehr schwach, bevor es sich umpolt. Bahnt sich eine Umpolung an? Dann würde der Schutz vor hochenergetischen Teilchen aus dem Weltraum, den uns das Magnetfeld bietet, drastisch vermindert.

Die Sondierungen in der Erdatmosphäre erfolgen im Zusammenspiel mit den GPS-Satelliten immer kurz bevor einer von ihnen für CHAMP hinter der Erdscheibe „untergeht“. Die von dem Satelliten ausgesandten Radiowellen werden bei der Annäherung an die Erdoberfläche von der immer dichteren Atmosphäre zunehmend gebrochen und verzögert. Die Analyse dieser Verzögerungen ermöglicht es, Temperatur-, Feuchte- und Druckprofile zu gewinnen sowie die Elektronendichte der Ionosphäre in unterschiedlichen Höhen zu untersuchen. Auf diese Weise erschließt CHAMP für die Wettervorhersage wie auch für die Kontrolle des schnell wechselnden Ionisationszustandes der Hochatmosphäre, von dem alle Aktivitäten im Weltraum betroffen sind, eine Fülle neuer Daten.

Vier bis fünf Jahre lang soll CHAMP Daten liefern. Wenn er schließlich verglüht, wird das Nachfolgeprojekt GRACE (siehe Seite 13) aller Voraussicht nach bereits einen neuen Standard gesetzt haben.

GEBIRGSBILDUNG

Knautscheffekte in den Anden

Wie Gebirge entstehen, lässt sich heute nach dem Konzept der Plattentektonik plausibel erklären: Wo zwei der driftenden Platten, welche die äußere Hülle der Erde bilden, frontal aufeinander treffen, wo sich über Jahrmillionen eine Platte unter die andere schiebt, türmen sich als Folge der gigantischen Schiebung Berge auf. Aber wie geht eine solche „Subduktion" im Einzelnen vonstatten?

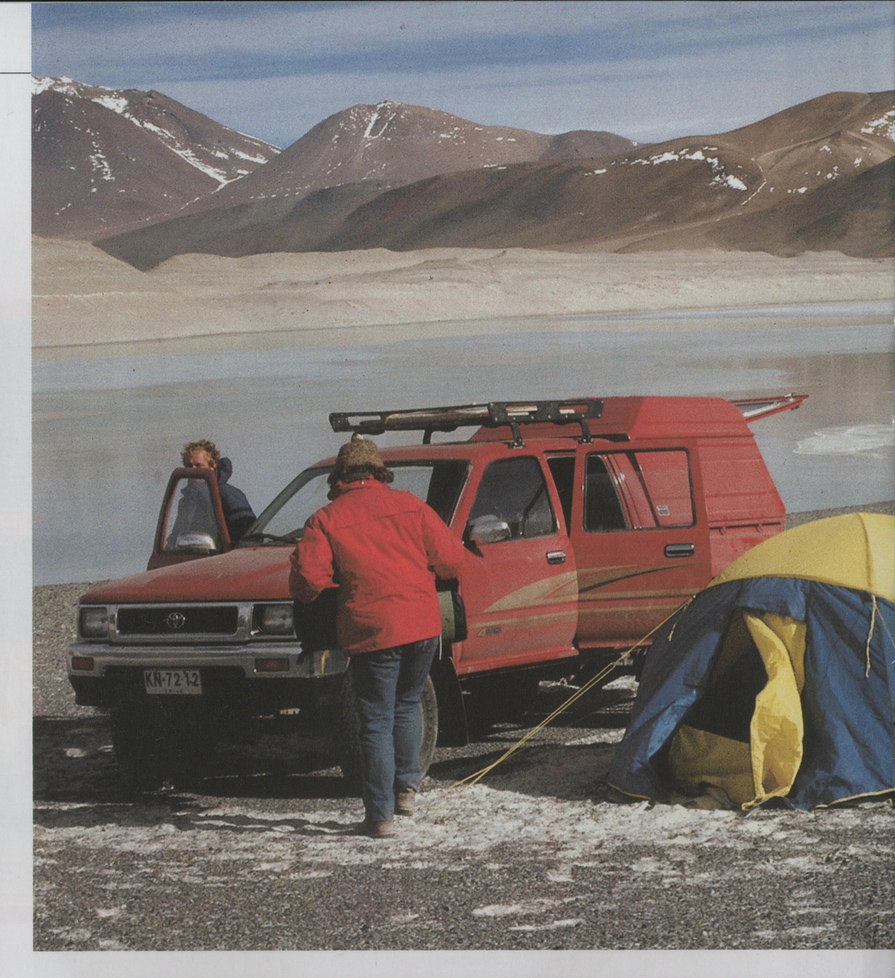
Einer dieser hochdramatischen Akte spielt sich am westlichen Rand Südamerikas ab, wo die Anden immer noch weiter wachsen. Vor der Küste gleitet die Nazca-Platte schräg abwärts unter die Südamerikanische Platte. Das Gebiet über der niederfahrenden Platte wird immer wieder von schwersten Erdbeben erschüttert. Eine Kette riesiger hochaktiver Vulkane zieht sich parallel zur Küste über Tausende von Kilometern hin. Die Erdkruste ist von normalerweise 40 auf 70 Kilometer Dicke zusammengeschoben.

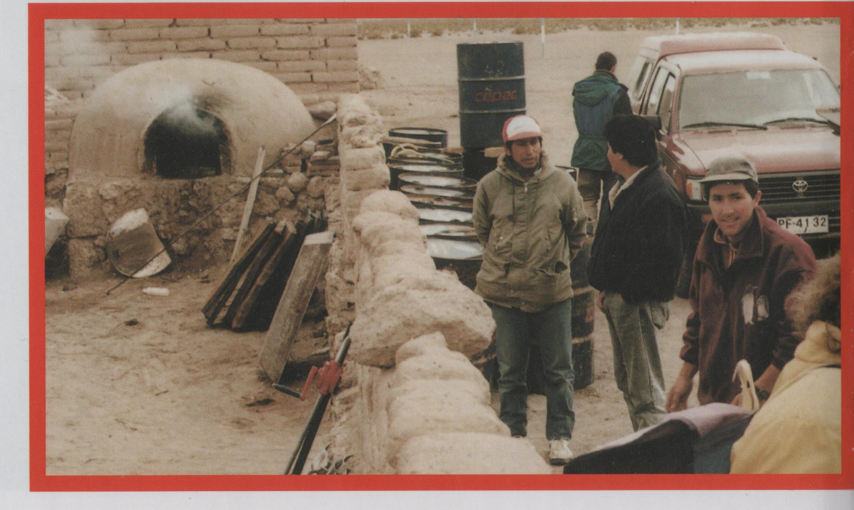
Jahr für Jahr zieht dieses Paradebeispiel einer Subduktionszone Potsdamer Forscher an. In nationalen und internationalen Kooperationen, insbesondere im Rahmen des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft eingerichteten Sonderforschungsbereiches „Deformationsprozesse in den Anden", suchen sie das Geschehen in diesem Schlüsselgebiet zum Verständnis der dynamischen Erde besser zu verstehen.

Die Arbeiten konzentrieren sich auf die Zentralen Anden im Bereich zwischen 20 und 40 Grad Süd. Das Gebirge zeigt dort musterhaft eine „tektonische Erosion" genannte Erscheinung, die erst spät entdeckt wurde und, da von grundsätzlicher Bedeutung, eingehender Untersuchungen bedarf.

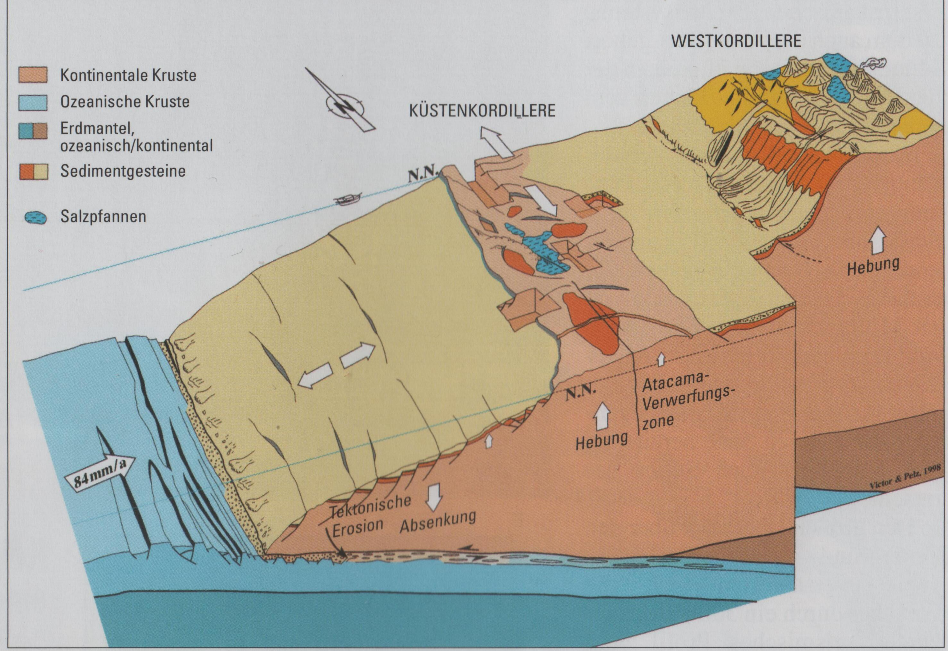
Nach dem gängigen Modell bleiben beim Abtauchen einer ozeanischen Platte Teile davon an der oberen Platte hängen. Der dabei gebildete „Akkretionskeil" vergrößert allmählich den Kontinent. Tatsächlich aber hat sich gezeigt, dass weltweit in mehr als der Hälfte der heutzutage aktiven Subduktionszonen gar keine Akkretion erfolgt, zum Teil sogar die obere Platte erodiert wird – sie verliert Material an die abtauchende untere. In den Anden findet beides statt: im Norden und Süden Akkretion, im zentralen Teil aber tektonische Erosion.

Durch die Anlagerung von Gesteinsmassen an den Kontinent verschiebt sich eine Subduktionszone allmählich seewärts – in den Anden also nach Westen –, bei tek-









tonischer Erosion hingegen rückt sie gegen die zurückweichende Küste vor. In den Zentralen Anden ist sie bereits 200 Kilometer nach Osten gewandert.

Im einen wie im anderen Fall setzen beim Abtauchen der Platte in etwa 100 Kilometer Tiefe Schmelzprozesse ein. Es bildet sich Magma, das zur Erdoberfläche aufsteigt und Vulkane aufwachsen lässt. Jeweils mit der Subduktionszone ist die Vulkankette in den Anden in verschiedene Richtungen gewandert – in den Zentralen Anden nach Osten, in den anderen Teilen hingegen nach Westen.

Bei ihren Arbeiten suchen die Forscher Ursachen und Auswirkungen der so unterschiedlichen Muster der Subduktion zu ergründen. Die tektonische Erosion wirft weit reichende Fragen auf: Wo bleibt das erodierte Material? Geht es mit der ozeanischen Platte in die Tiefe? Wird es der kontinentalen Kruste anderswo wieder angefügt? Wird es als Schmelze von den Vulkanen ausgespuckt?

Als in einer bislang einmaligen Aktion der Untergrund der Anden quer durch das Gebirge mit modernsten seismischen Verfahren durchleuchtet wurde, zeigte sich in der oberen Kruste eine ausgedehnte Zone partiellen Schmelzens. Die Diskussionen darüber, wie dieser Befund zu interpretieren ist, sind jedoch noch nicht abgeschlossen.

Forschung am Paradebeispiel einer Subduktion

Vor der Westküste Südamerikas gleitet die Nazca-Platte unter die Südamerikanische Platte. Dieses Paradebeispiel einer Subduktion, bei der die Anden entstanden sind, zieht GFZ-Forscher immer wieder an. Ihre Arbeit in den unterschiedlichsten Höhenstufen konzentriert sich auf die gelben Quadrate in den Zentralen Anden (Karte links mit rot markierten Erdbebenherden). Die provisorische Tankstelle in einem bolivianischen Dorf (Foto links unten) wurde von der chilenischen Hafenstadt Antofagasta herantransportiert. Das Blockbild zeigt den chilenischen Kontinentalrand bei 21 Grad Süd mit typischen Strukturen und Bewegungen der Erdkruste

PROJEKT DESERT

Kooperation im Heiligen Land

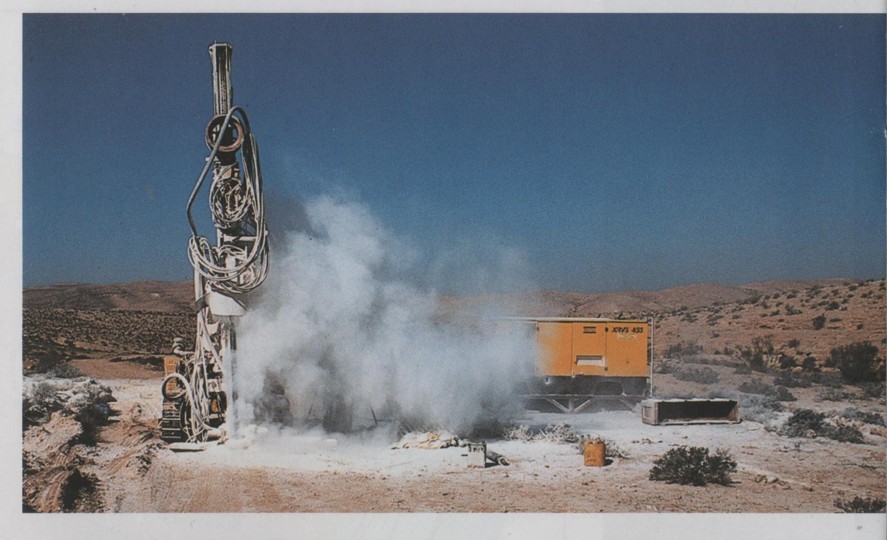
Scheinbar Unmögliches wird zuweilen in der Wissenschaft Wirklichkeit. Im Großprojekt DESERT (Dead Sea Rift Transect) unter Leitung des GeoForschungs-Zentrums Potsdam untersuchen israelische, palästinensische und jordanische Geowissenschaftler gemeinsam mit den deutschen Kollegen den Untergrund auf beiden Seiten der israelisch-jordanischen Grenze und im Gazastreifen. Problemlos überquerten die Forscher in der ersten Phase des Projekts die Grenze mit schwerem Gerät und zündeten neun Tonnen Sprengstoff, um mit den dadurch ausgelösten Erschütterungen die Erdkruste zu durchleuchten.

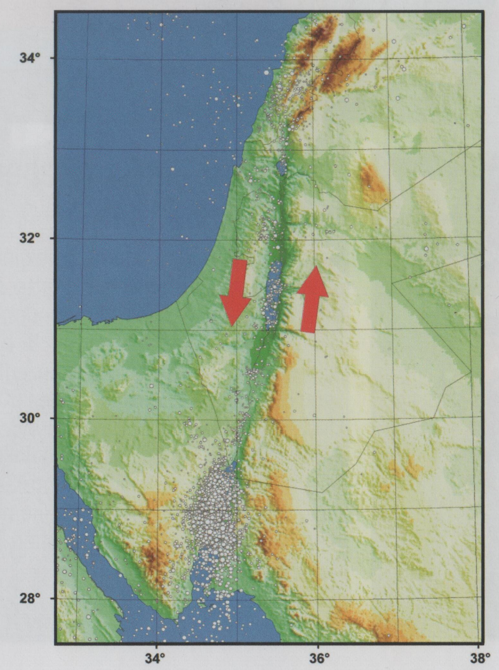
Die politische Grenze deckt sich mit einer der großen tektonischen Trennungslinien unseres Planeten: Hier stoßen Afrikanische und Arabische Platte aneinander. Untersuchungsgebiet ist das Arava-Tal, auch Wadi Arava genannt. Dieser Teil der Plattengrenze reicht vom Roten bis zum Toten Meer.

In Lexika und Lehrbüchern gilt diese Region als Fortsetzung des Tausende von Kilometern langen Ostafrikanischen Grabensystems, zu dem auch das Rote Meer gehört – als eine klassische Region, in der die Erde aufreißt und Platten auseinander driften. Aber diese Anschauung gehört nun der Vergangenheit an. Die Senke ist eine Plattengrenze ganz anderer Art: eine Scherzone, an der Afrikanische und Arabische Platte aneinander entlangschrammen. Im Laufe von 18 Millionen Jahren, einer nach geologischen Begriffen relativ kurzen Zeit, ist die westlich gelegene Afrikanische Platte gegenüber der anderen Seite bereits um 105 Kilometer nach Süden gerutscht.

Den großen Überblick über den Untergrund im Untersuchungsgebiet verschafften sich die Forscher durch ein 300 Kilometer langes seismisches Profil vom Gazastreifen bis ins jordanische Hochland. Quer über die Scherzone hinweg untersuchten sie die Ausbreitungsgeschwindigkeit von künstlich ausgelösten Druck- und Scherwellen.

Die Minibeben erzeugten sie durch Sprengungen in flachen Bohrlöchern oder durch eine Kolonne von speziell ausgestatteten Lastwagen, die den Boden in Schwingung versetzten. In weiteren seismischen Experimenten wurden zum Abhören der erzeugten Erdbebenwellen bis zu 100 Seismometer und 300 Geophon-Gruppen gleichzeitig eingesetzt. Dies ermöglichte detaillierte Be-





Kein Riss, sondern eine Schiebung

Das Arava-Tal zwischen dem Roten Meer (am unteren Kartenrand) und dem Toten Meer (Kartenmitte) galt als klassische Region, in der die Erde aufreißt. Afrikanische und Arabische Platte sollten hier auseinander driften. Seismische Untersuchungen, für die Vibrator-Fahrzeuge eingesetzt und beim Bohren von Sprenglöchern viel Staub aufgewirbelt wurde, deckten eine andere Bewegung auf: Die Platten schieben sich aneinander entlang. Jeder weiße Punkt auf der Karte steht für ein Erdbeben in den Jahren 1981-1998



Eine Kolonne israelischer Vibrator-Fahrzeuge in den Bergen bei Petra in Jordanien

obachtungen, die schließlich zu hochaufgelösten dreidimensionalen Darstellungen der Feinstrukturen in unmittelbarer Umgebung der Scherzone führten.

Zusätzlich wurde im Zentralbereich des Arava-Tals ein elektromagnetisches Experiment durchgeführt. Mithilfe von natürlichen elektrischen und magnetischen Wechselfeldern, die an der Erdoberfläche registriert wurden, erhielten die Forscher ein Abbild elektrisch leitender Strukturen im Untergrund. Die Scherzone scheint aufgrund unterschiedlicher Gesteine auf beiden Seiten als Barriere für salzhaltiges Grundwasser zu fungieren. Auf diese Weise lässt sich der Verlauf dieser Scherzone auch noch in größerer Tiefe verfolgen.

Schon dieser Auftakt des auf fünf Jahre angelegten Projekts war sehr ertragreich. Über die regionale Bedeutung hinaus, vor allem zur Abschätzung der Bedrohung durch Erdbeben, erwies sich die Arava-Senke nun als Paradebeispiel einer Scherzone. Sie ist viel einfacher angelegt als etwa die tektonisch vergleichbare, aber vielfältig verzweigte San-Andreas-Verwerfung in Kalifornien. Die klaren Verhältnisse im Heiligen Land lassen auf erhellende Einblicke in die Vorgänge hoffen, durch die sich in der Tiefe vor einem Beben kritische Spannungen aufbauen.

ERDBEBENFORSCHUNG

Schwerpunkt Türkei

Weltweit wachsen die Gefahren durch Erdbeben. Nicht etwa, dass die Erde heute häufiger oder heftiger erschüttert würde als früher. Die unheimlichen Stöße aus der Tiefe bedrohen immer mehr Menschen und richten immer größere Zerstörungen an, weil die Weltbevölkerung wächst und die Infrastrukturen zunehmend komplexer werden. Erdbebenforschung hat daher im GFZ Potsdam einen hohen Stellenwert.

Schwerpunkt ist die Türkei mit angrenzenden Gebieten. Zwischen der Eurasischen und der Arabischen Platte liegt die kleine Anatolische Platte und wird wie ein zwischen zwei Fingern gequetschter Kirschkern nach Westen gepresst. Ihren Nordrand bildet die Nordanatolische Verwerfung. Auf diese berüchtigte Erdbebenzone konzentriert sich ein vom GeoForschungsZentrum koordiniertes deutsch-türkisches Projekt.

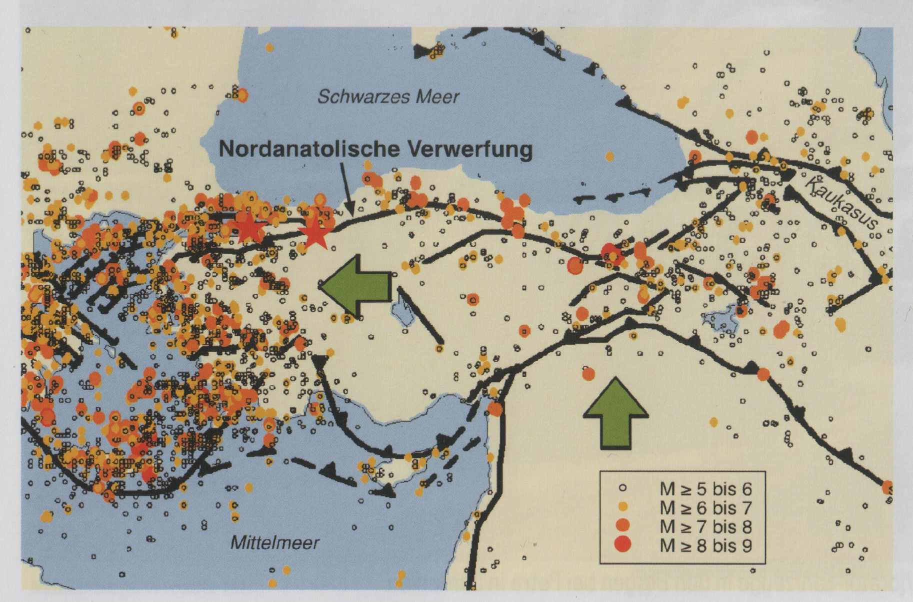
Mit einem Netz von Messstationen werden zahlreiche Daten aus der Erdkruste registriert. So werden sämtliche Erdbeben in der Region aufgezeichnet, magnetische Messungen vorgenommen, Eigenschaften des Grundwassers untersucht, selbst geringste Deformationen frühzeitig erfasst. Die Hoffnung der Forscher: Anzeichen zu entdecken, die auf bevorstehende starke Beben hinweisen.

Weit über den Bereich der Verwerfung hinaus greift das vom GFZ Potsdam initiierte internationale Projekt READINESS (Realtime Data Information Network in Earth Sciences). Ausgewählte Thermal- und Mineralwässer in der Türkei, in Armenien, Georgien und Israel werden kontinuierlich auf Faktoren wie chemische Zusammensetzung, Wassermenge, Temperatur und Radon-Gehalt untersucht. Stündlich werden die Messwerte per Satellit nach Potsdam übermittelt, wo sie auf Abruf zur Verfügung stehen, insbesondere auch Wissenschaftlern in den kooperierenden Ländern.

Dem Projekt liegen Beobachtungen zugrunde, dass zwischen benachbarten großen, von Erdbeben immer wieder aktivierten Verwerfungssystemen Wechselwirkungen bestehen, die nun im Einzelnen erfasst werden sollen. Tatsächlich änderte sich am 17. August 1999 beim großen Izmit-Beben in der Westtürkei in einem 1400 Kilometer entfernten artesischen Brunnen in Armenien schlagartig die Fördermenge und die elektrische Leitfähigkeit als Maß für den Salzgehalt – ein noch unerklärter Befund.

Drei Monate nach dem Izmit-Beben wurde die Erde 100 Kilo-





Wo Arabien Anatolien quetscht

Zwischen der Eurasischen Platte im Norden und der Arabischen Platte im Süden wird die kleine Anatolische Platte westwärts gequetscht. Als Folge davon leidet die Türkei unter zahlreichen Erdbeben. Jeder Punkt auf der Karte steht für ein mittel- bis sehr starkes Beben in den letzten 2500 Jahren. Zwei rote Sterne zeigen die Herde der Beben von Izmit und Düzce im Jahr 1999 an



Nach dem Beben gleich zur Stelle

Über 18 000 Menschen starben 1999 im Norden der Türkei bei den Beben von Izmit und Düzce mit den Magnituden 7,4 und 7,1, weitaus mehr mussten in Zeltstädten und anderen Notunterkünften untergebracht werden. Beide Beben wurden bei Soforteinsätzen der „Deutschen Task Force Erdbeben" eingehend untersucht. Nach dem Düzce-Beben wurde eine seismische Messstation in einer nicht mehr genutzten Dorfschule bei Bolu eingerichtet





meter weiter östlich, bei Düzce, aufs Neue erschüttert. Beide Beben mit den Magnituden 7,4 und 7,1 wurden bei Soforteinsätzen der „Deutschen Task Force Erdbeben", die ihren Sitz beim GFZ in Potsdam hat, intensiv untersucht. Allein nach dem Izmit-Beben konnten über 40 000 Nachbeben registriert und ausgewertet werden. Eingehend wurden die frisch entstandenen Deformationen vermessen.

Gewaltige Risse hatten sich aufgetan – 127 Kilometer lang bei Izmit, 43 Kilometer bei Düzce –, an denen sich die Erdkruste bis 4,90 Meter weit nach Westen verschoben hatte. Die Untersuchung der einander überlappenden Risse ergab, dass das erste Beben das zweite ausgelöst hat. In der Kruste aufgestaute Spannungen hätten sich zwar auch ohne den Vorläufer entladen, aber sicherlich später.

Durch das deutsch-türkische Projekt, durch READINESS und die Untersuchungen der Task Force, durch Radarbilder von Satelliten aus und die Nutzung globaler seismischer Netze, an deren Aufbau das GFZ Potsdam maßgeblich beteiligt ist, liegt jetzt ein einmaliger Datensatz zur Analyse zweier katastrophaler Beben vor, bei denen über 18 000 Menschen ums Leben kamen. An der Auswertung sind allein im GeoForschungsZentrum vier Projektbereiche beteiligt.

VULKANFORSCHUNG

Mit Breitband am Popo

Seit Menschengedenken speit der mexikanische Vulkan Popocatépetl immer wieder Dampf und Asche. Zu sehr starken Eruptionen ist es nach Untersuchungen von Vulkanologen am „rauchenden Berg“, so die Übersetzung des aztekischen Namens, in historischer Zeit jedoch nicht gekommen.

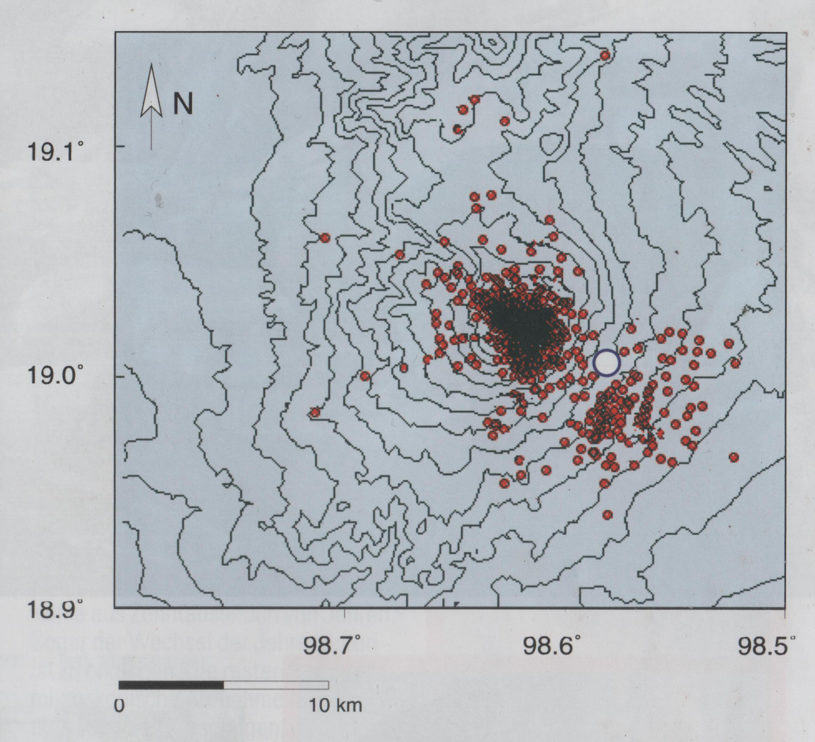
Aber das muss nicht immer so bleiben. Die Untersuchungen ergaben nämlich auch, dass in fernerer Vergangenheit gewaltige Ausbrüche stattgefunden haben, zuletzt vor 1200 Jahren. Wann es wieder einmal so weit ist, vermag niemand zu sagen. Im schlimmsten Fall könnte eine gewaltige Explosion zum Zusammenbruch des ganzen Vulkans führen wie 1980 beim Mount St. Helens im Westen der USA.

Doch anders als der Mount St. Helens, den dünn besiedeltes Gebiet umgibt, hat der über 5400 Meter hohe Popocatépetl ein extrem hohes Gefährdungspotential: 25 Millionen Menschen sind bedroht. In Sichtweite des steilen Kegels, von Gringos aus Bequemlichkeit oft einfach „Popo“ genannt, liegen die Ballungsräume von Mexico City und Puebla. Vulkanologen versuchen daher, Signale für eine fatale Entwicklung möglichst frühzeitig zu entdecken. An diesen Bemühungen beteiligen sich Forscher des GFZ Potsdam mit speziellen seismischen Untersuchungen.

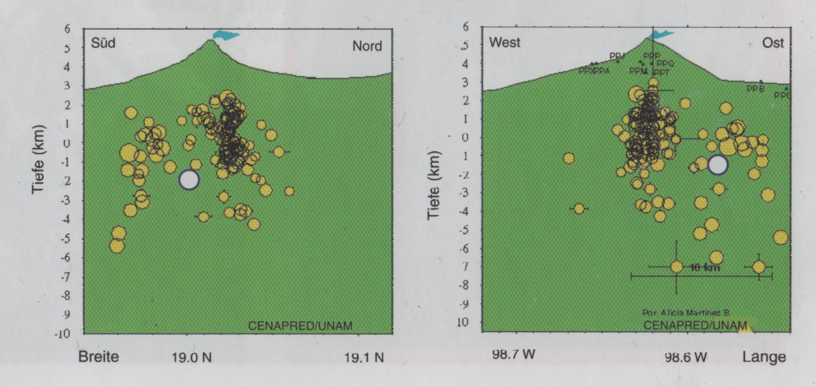
Bei der routinemäßigen Überwachung durch das Centro Nacional de Prevención de Desastres in Mexiko City werden kurzperiodische seismische Wellen, die durch Verschiebungen im Gestein entstehen und über Spannungen im Vulkangebäude Aufschluss geben, erfasst und ausgewertet. Von den Potsdamer Forschern wurden Breitbandseismometer eingesetzt, die ein wesentlich breiteres Spektrum von Erdbebenwellen registrieren. Die Geräte erfassten insbesondere langperiodische Wellen, die durch den Aufstieg von Magma ausgelöst werden.

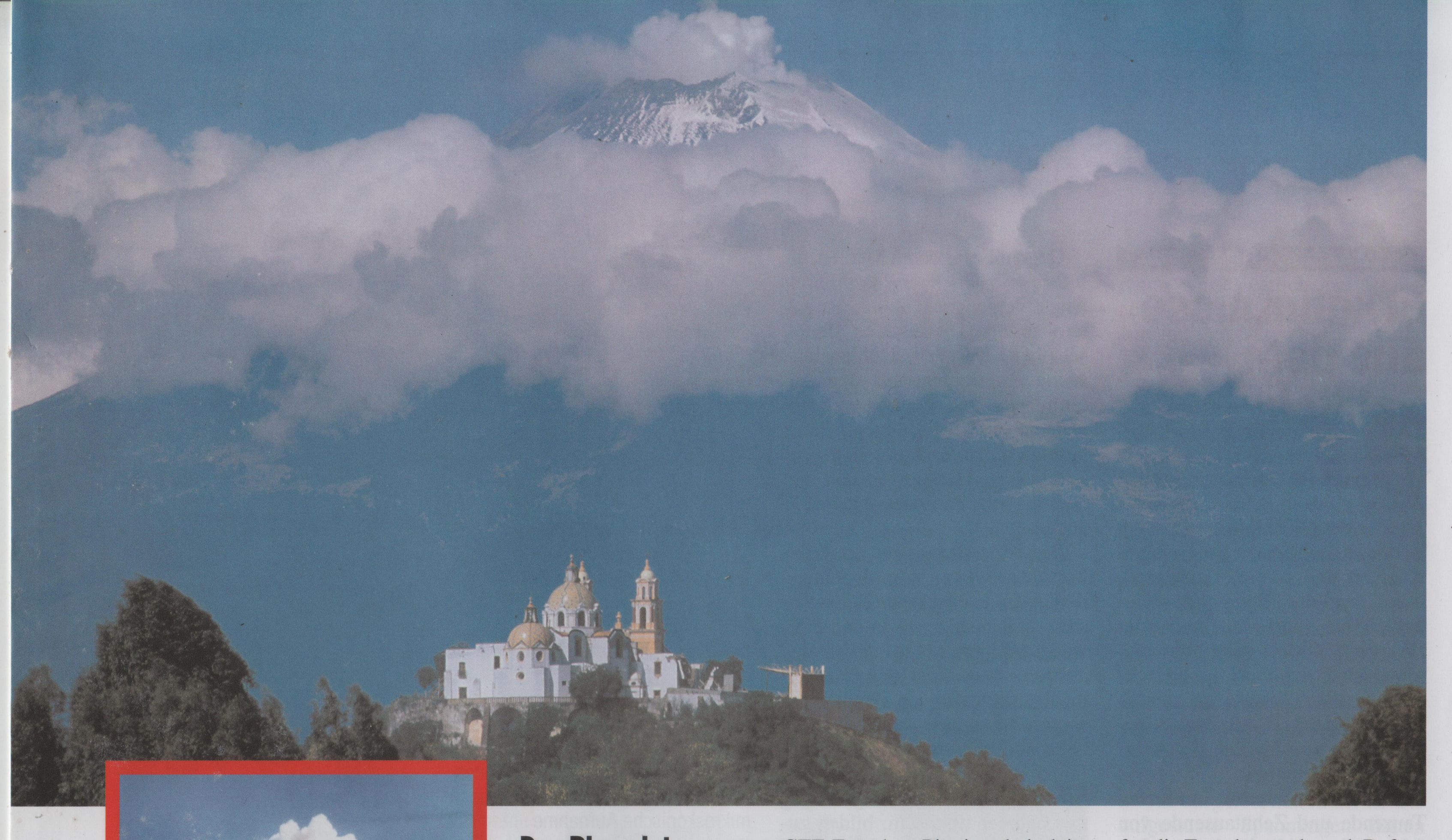
Solche Wellen werden beim Magmentransport besonders dort erzeugt, wo der Aufstieg gestört ist. Dabei ist vor allem jener Bereich von Bedeutung, in dem Magma mit Grundwasser in Berührung kommt. In der Kontaktzone von Feuer und Wasser wird über Tage und Wochen hinweg das spätere Verhalten eines Vulkans beim Ausbruch aufgebaut. Dieser Prozess ist mit einer Vielzahl von Druckschwankungen verbunden, die eine Fülle langperiodischer seismischer Ereignisse produzieren.

Weltweit gibt es bislang nur wenige Breibandregistrierungen vulkanischer Aktivität, sodass die



Erdbeben am Popocatépetl: Die Herde der Beben von 1996 bis 2000 (Karte oben) konzentrieren sich unter dem Krater und südöstlich davon. Die Schnitte (unten) zeigen die ermittelten Herdtiefen im Jahr 2000





Der Riese ist gefährlich

Hinter der Kirche von Cholula ragt der über 5400 Meter hohe Popocatépetl. Sollte es zu einem gewaltigen Ausbruch kommen, wie in der Vergangenheit geschehen, sind in der Umgebung des Vulkans 25 Millionen Menschen bedroht. GFZ-Forscher beteiligen sich an Untersuchungen, eine fatale Entwicklung möglichst frühzeitig zu entdecken

GFZ-Forscher Pionierarbeit leisteten, als sie im November 1999 in Zusammenarbeit mit der Universidad Nacional Autónoma de Mexico mit ihren Untersuchungen begannen. Sie installierten ein enges Breitbandnetz aus 16 Stationen, das neun Monate lang die seismischen Signale aufzeichnete. Die Auswertung ergab, dass die langperiodischen Wellen aus einem Herd zwei Kilometer unter N.N. kamen (siehe weißer Punkt in der Karte) und dort wohl der Kontaktbereich des Magmas mit dem Grundwassersystem liegt. Aus der Fülle der Messdaten hoffen die Forscher auch noch Befunde zur aufgestiegenen Menge des Magmas herausfiltern zu können.

Zum Einsatz kam auch eine weitere relativ neue seismische Methode, „Receiver Functions“ genannt, die einen aufschlussreichen Überblick über den Aufbau der tieferen Erdkruste am Vulkan verschaffte. Dabei gelang der Nachweis einer teilweise aufgeschmolzenen Zone in der unteren Erdkruste. Dieses Reservoir, das den Vulkan speist, ist 20 bis 25 Kilometer stark und erreicht unter dem Popocatépetl seine größte Mächtigkeit.

KLIMAFORSCHUNG

Erkenntnisse aus dem Schlick

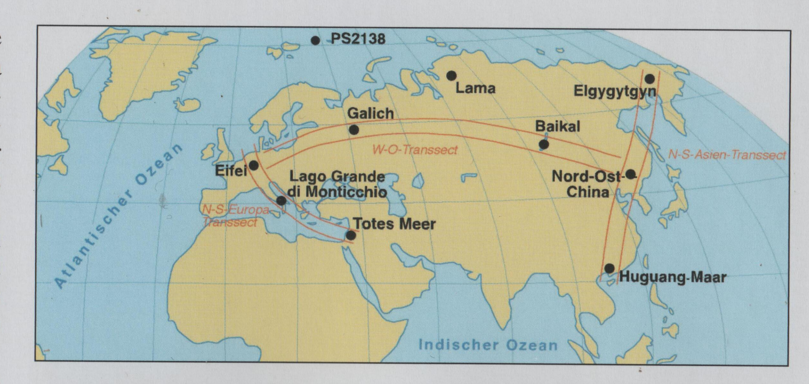
Wenn die meterlangen Proben aus zähem Schlick, die Mitarbeiter des GFZ Potsdam aus den Böden stiller Seen ziehen, fein geschichtet sind, ist die Freude groß. Dann hat die Bohrsonde wieder einmal Jahresschichten oder „Warven" (nach dem schwedischen Wort varv für Lage) durchstochen. In solchen Sedimenten sind die Klima- und Umweltbedingungen aus der Zeit der Ablagerung dokumentiert.

Diese Klimaarchive umfassen Tausende und Zehntausende von Jahren, im süditalienischen Lago Grande di Monticchio sogar 150 000 Jahre. Nachdem dort die letzte Zwischeneiszeit, das Eem, durchteuft wurde, liegt ein in Warven unterteiltes Profil für einen ganzen glazialen Zyklus von einer Warmzeit durch die jüngste Kaltzeit hindurch bis in die Gegenwart vor. Solche Klimadaten sind heute sehr gefragt. Aus dem Studium der Vergangenheit für die Zukunft zu lernen, ist besonders wichtig angesichts der Unmengen von Treibhausgasen, die von der Menschheit Jahr für Jahr in die Atmosphäre gebracht werden.

Gegenüber anderen Medien, die Informationen über das Klima längst vergangener Zeiten enthalten – Torfen, Ozeanböden, Baumscheiben, Korallen, Höhlensinter sowie Bohrkernen aus dem Eis Grönlands und der Antarktis –, zeichnen sich Seesedimente durch besonders gute Auflösung und durch ihre Herkunft direkt aus dem Lebensraum des Menschen aus.

Die Untersuchungen der GFZ-Forscher begannen in Eifelmaaren, in denen über lange Zeit ungestört niedersank, was in den Seen an einzelligen Algen gedieh und abstarb, was von den Hängen hinabgespült und von Winden hineingeweht wurde. Jeweils eine helle und eine dunkle, an organischen Resten reiche Lage, die in den Sedimentkernen regelmäßig miteinander wechseln, bilden zusammen eine Jahresschicht. Die beste Schichtung fanden die Forscher im Holzmaar bei Gillenfeld. Von einem an den Ufern vertäuten Floß aus gelang es, Kerne aus dem Seegrund zu ziehen, die zusammengesetzt ein 31,6 Meter langes Profil ergeben.

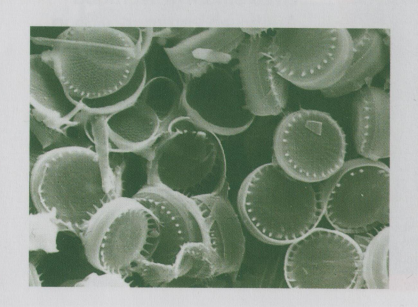
Dieses Klimaarchiv reicht 23 000 Jahre in die Vergangenheit zurück, mitten in die Eiszeit hinein. Die Schichten aus der Eiszeit enthalten kaum organische Substanz und heben sich durch eine hellere Färbung von den Ablagerungen der Nacheiszeit deutlich ab. Der Übergang zur Nach-



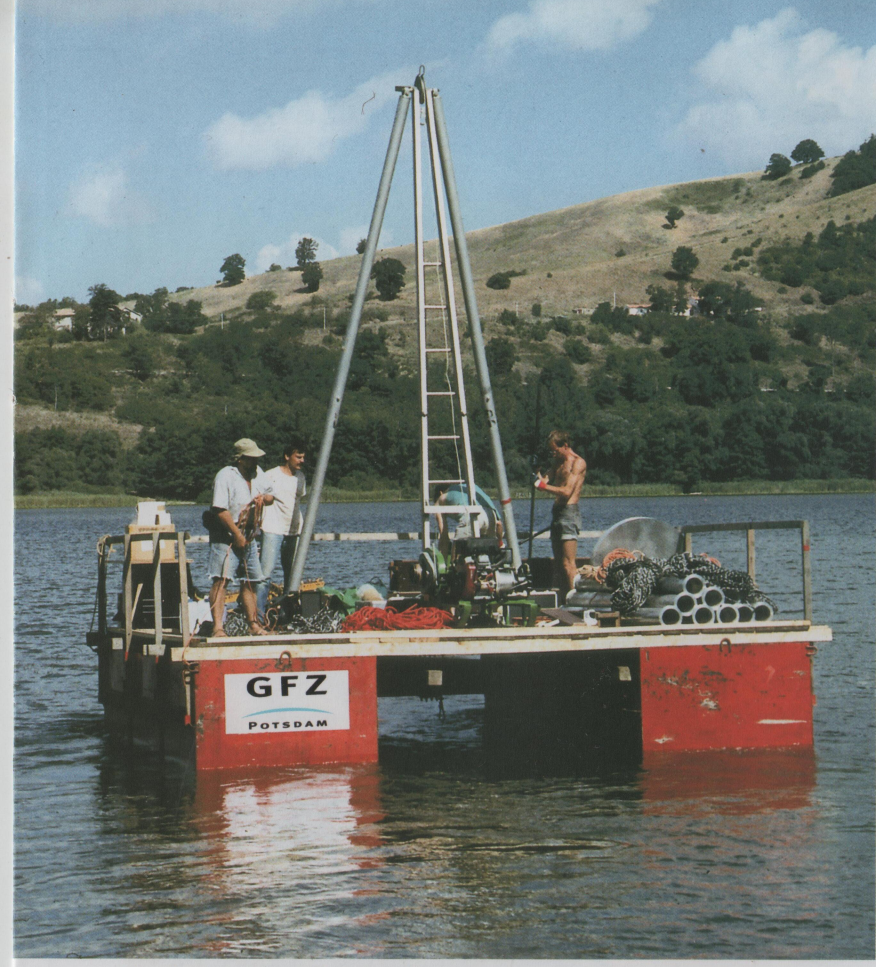
Vergangenes Klima Jahr für Jahr

Aus Seesedimenten gezogene Kerne erwiesen sich im Labor als ideale Klima-Archive. Die feinen Streifen dokumentieren Jahr für Jahr das Klima aus Zehntausenden von Jahren. Sogar der Wechsel der Jahreszeiten ist zu erkennen. Die rasterelektronenmikroskopische Aufnahme unten zeigt eine Lage von Kieselalgen, die sich im Frühjahr besonders stark vermehrten. Im Rahmen des Projekts „Transsect Europa-Asien" werden Seen auf einer West-Ost-, einer Nord-Süd-Europa- und einer Nord-Süd-Asien-Transsect untersucht









Vom fest vertäuten Floß aus ziehen Forscher aus ruhigen Seen, vorzugsweise Maaren, ihre bohrkernartigen Proben aus zähem Schlick

eiszeit, der sich in den Sedimenten durch das reichliche Auftreten von Kieselalgen widerspiegelt, fand vor rund 11 600 Jahren statt. Klimarückschläge mit kühlen und feuchten Wintern und verstärkter Erosion sind in auffallend dicken Warven dokumentiert.

Neben Ablagerungen aus den Eifelmaaren werden in Potsdam inzwischen Sedimentkerne aus zahlreichen Seen in Europa und Asien im Rahmen des Projekts „Transsect Europa-Asien" untersucht, unter anderem aus Maarseen in Nordost- und Südchina sowie dem Toten Meer und dem Baikalsee. Ziel der Arbeiten ist es, quer durch den eurasischen Kontinent das Klima von der letzten Warmzeit bis in die Gegenwart Jahr für Jahr zu erfassen.

Als besonders aufschlussreich erwies sich das Sedimentprofil aus dem Lago Grande di Monticchio, das nicht nur weit zurückreicht und fein geschichtet ist, sondern auch 340 Lagen vulkanischer Asche von Ausbrüchen in Süd- und Mittelitalien enthält. Sie können mit radiometrischen Altersbestimmungen datiert werden und ergeben so eine zweite unabhängige Zeitskala.

Die Untersuchungen enthüllten starke und unvermittelte Schwankungen des Klimas innerhalb sehr kurzer Zeit, ähnlich wie sie in den grönländischen Eiskernen aufgezeichnet sind. Die im Eis belegten Klimakapriolen waren somit keineswegs, wie zunächst vermutet worden war, lediglich auf die Arktis beschränkt. Im Gegenteil: Die Oszillationen sind in Süditalien noch deutlicher als auf Grönland ausgeprägt, vor allem vor 65 000 Jahren.

ERDMAGNETISMUS

Auf der Spur der Wechselwirkungen

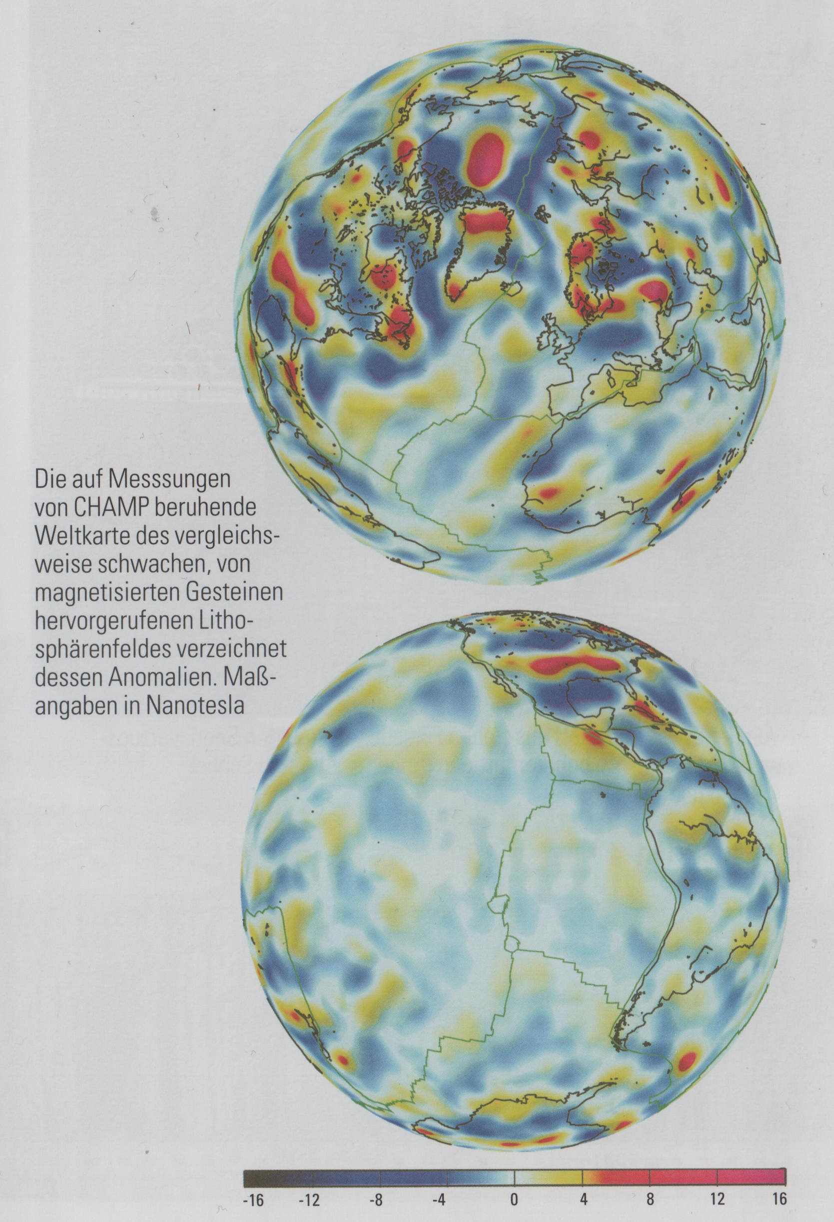
Das Magnetfeld unseres Planeten ist ein erstaunlich kapriziöser Zug der Erde, die wir sonst als so beständig erleben. Seine Stärke verändert sich laufend, aber auch seine Lage – die Magnetpole wandern, fast eine Million mal schneller als es die Kontinente tun.

Das Magnetfeld ist vielschichtig. Zum dominierenden Hauptfeld, das durch Prozesse im metallischen Erdkern hervorgerufen wird, kommt das örtlich mehr oder weniger stark ausgeprägte „Lithosphärenfeld“ durch magnetisierte Gesteine in der Erdkruste und vielleicht auch im Oberen Erdmantel. Zudem funkt ständig die Sonne dazwischen. Sie beeinflusst durch elektrisch geladene Teilchen des Sonnenwindes den Zustand der Magnetosphäre und dadurch wiederum in mehrfachen Wechselwirkungen das an der Erdoberfläche gemessene Feld.

Forscher des GeoForschungsZentrums Potsdam bemühen sich, die einzelnen Komponenten in diesem verwirrenden Zusammenspiel möglichst exakt zu trennen. Jede der drei ist von immenser praktischer Bedeutung für unser Leben.

Das Hauptfeld schützt uns wie ein unsichtbarer Schirm vor den elektrischen Teilchen von der Sonne, fängt sie ein und leitet die meisten um die Erde herum. Doch die Kraft des irdischen Magneten lässt seit Beginn der Messungen vor rund 150 Jahren rapide nach. Bei starken Sonnenausbrüchen stören die Teilchenströme heute schon den Funkverkehr, Radaranlagen, die Kommunikation über Satelliten und das Satellitennavigationssystem GPS. Solche Zwischenfälle würden sich bei weiterer Abschwächung des Magnetfeldes dramatisch häufen.

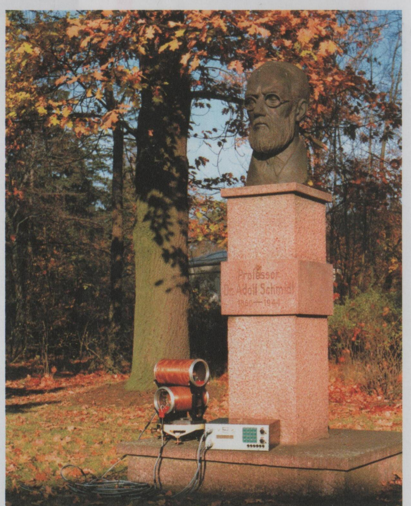
Das Lithosphärenfeld gibt Aufschluss über verborgene geologische Strukturen in der Erdkruste. Die jetzt erkennbaren Muster zeigen Zusammenhänge zwischen Teilen verschiedener Kontinente, die durch die Plattentektonik zerrissen worden sind. Das Lithosphärenfeld verrät auch mögliche Lagerstätten. Bei der Planung von Explorationsprojekten, sei es die Suche nach Erdöl, Erdgas, Erzen oder Wasser, werden Karten herangezogen, die magnetische Anomalien in der Region anzeigen. Das schnell veränderliche Außenfeld schließlich übt mannigfache störende Einflüsse aus auf die zahllosen Satelliten, auf deren fehlerfreies Funktionieren unsere High-Tech-Zivilisation in hohem Maße angewiesen ist.



Die auf Messsungen von CHAMP beruhende Weltkarte des vergleichsweise schwachen, von magnetisierten Gesteinen hervorgerufenen Lithosphärenfeldes verzeichnet dessen Anomalien. Maßangaben in Nanotesla

Rund um die Erde wird daher laufend das Magnetfeld mit seinen verschiedenen Komponenten registriert. Das GeoForschungs-Zentrum betreibt das 1890 in Potsdam gegründete und später 45 Kilometer südwestwärts nach Niemegk verlagerte Adolf-Schmidt-Observatorium für Geomagnetismus, seit dem Jahr 2000 zudem auch das Observatorium Wingst nördlich von Hamburg. Mit modernsten Geräten ausgestattet, zählen sie zu den weltweit leistungsfähigsten geomagnetischen Observatorien.

Ein Meilenstein in der geomagnetischen Forschung ist die Beobachtung des Magnetfeldes aus dem All mit dem GFZ-Satelliten CHAMP (siehe Seite 16). Ein erstes Ergebnis ist eine Weltkarte, die den Anteil des Lithosphärenfeldes mit bislang unerreichter räumlicher Auflösung und Genauigkeit darstellt. Sie verschafft Sicherheit über Erwartetes und reizt durch Unerwartetes. Erwartet und bestätigt wurde etwa eine relativ schwache Magnetisierung der ozeanischen, vor allem der pazifischen Lithosphäre und im Gegensatz dazu eine stärkere Magnetisierung sehr alter Teile der Kontinente. Zu den Überraschungen zählen ein geologisch nicht erklärbares magnetisches Hoch des Lithosphärenfeldes am Nordpol sowie eine nur schwache Magnetisierung der uralten Teile Südamerikas.



Aus dem All ein Blick in den Kern

In den weit ins All ausladenden Kraftlinien des irdischen Magnetfeldes offenbart sich eine Kraft aus dem tiefsten Erdinnern, denn die Ursache des Magnetfeldes liegt ganz überwiegend im Erdkern. Umgekehrt lässt sich sagen, dass der Satellit CHAMP, der das Magnetfeld im All misst, einen tiefen Blick ins Erdinnere ermöglicht. Die kronenähnliche grüne Struktur auf der Zeichnung symbolisiert das Polarlicht, das unter dem Einfluss des Magnetfeldes entsteht. Das Denkmal zeigt Adolf Schmidt, den langjährigen Direktor (1902-1928) des magnetischen Observatoriums Potsdam

FLUIDE

Die Transporteure in der Kruste

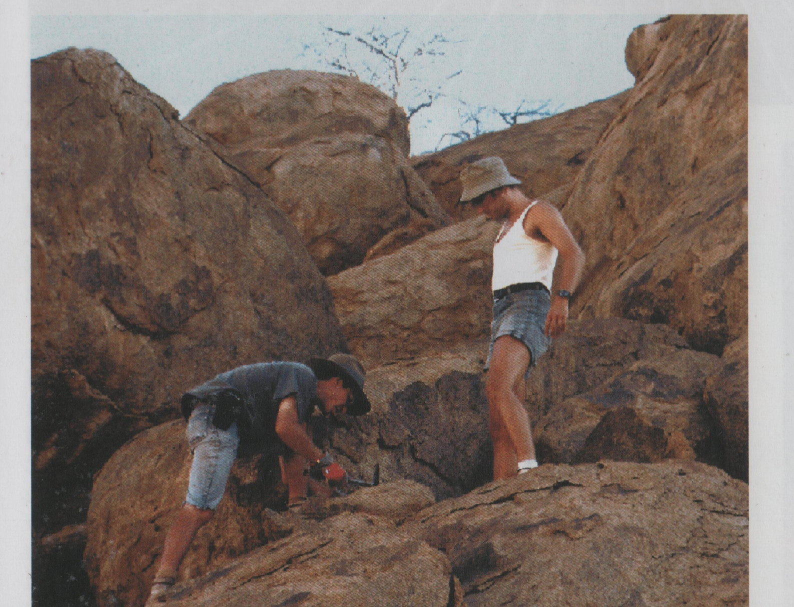
Eine der größten Überraschungen beim Kontinentalen Tiefbohrprogramm der Bundesrepublik Deutschland (KTB) war die ungeheure Menge von „Fluiden", heißen Salzlösungen mit darin gelösten Gasen, die aus dem Bohrloch gewonnen werden konnten. Gewiss waren Fluide eines der wichtigsten Themen gewesen, um die es bei der Tiefbohrung in der Oberpfalz ging. Doch die KTB-Forscher hatten nur mit wenig Flüssigkeit gerechnet, die sie in mühseliger Prozedur aus winzigen Poren des Grundgebirges zu gewinnen hofften.

Die Wirklichkeit sah ganz anders aus. In 3200 Meter Tiefe wurden bis über einen Zentimeter weite, mit Fluiden gefüllte Spalten angeschnitten. In 4000 Meter Tiefe ergossen sich aus Rissen schier unerschöpfliche Mengen von Fluiden, von denen zunächst 75 000 und später noch einmal 460 000 Liter abgepumpt werden konnten. Selbst in über 9000 Meter Tiefe konnten bei einem abschließenden Experiment 4900 Liter Flüssigkeit aus dem zerklüfteten Gestein gesogen werden.

Weil Fluide für die Entwicklung und Dynamik der kontinentalen Kruste von fundamentaler Bedeutung sind, zählen sie zu den Schwerpunkten der Forschung im GFZ Potsdam. Fluide sind immer im Spiel, wenn Stoffe in der Kruste transportiert und Gesteine chemisch verändert werden. Wenn Gesteine allmählich absinken und bei zunehmendem Druck und steigenden Temperaturen Minerale in andere umgewandelt werden, haben Fluide entscheidenden Anteil an dieser Metamorphose.

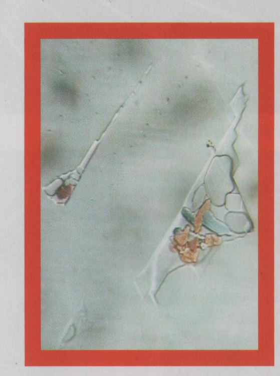
Die meisten Erzlagerstätten entstehen dadurch, dass Metalle durch Tiefenwässer aus Gesteinen ausgelaugt und anderswo wieder abgesetzt und dabei konzentriert werden. Neben der chemischen und der mineralogischen Zusammensetzung der Gesteine beeinflussen Fluide auch deren physikalische Eigenschaften, so das Fließverhalten, wenn sie bei hohem Druck und hoher Temperatur weich zu werden beginnen, und die Bildung von Magmen, wenn sie aufschmelzen.

Die Aufgabe, den vielfältigen Funktionen der Fluide nachzuspüren, vereint im GeoForschungsZentrum Experten unterschiedlicher Fachrichtungen: Mineralogen, Petrologen, Chemiker, Geo-



Auf der Suche nach der verlorenen Zeit

Auf der Satelliten-Aufnahme des Brandberg-Komplexes in Namibia ist rechts oben eine zu Granit erstarrte Magmakammer zu erkennen. GFZ-Forscher nahmen dort Proben von Gesteinen, um die Rolle von Fluiden bei der Magma-Bildung zu untersuchen. Das kleine Foto zeigt stark vergrößert in einem



Topas vom Schneckenstein im Vogtland Flüssigkeitseinschlüsse, die noch aus der Zeit stammen, in welcher der Edelstein entstand. Die Einschlüsse enthalten zudem Steinsalz, Quarz und Alkaliborate



chemiker, Physikochemiker, Geologen, Geophysiker. Das interdisziplinär angelegte Programm umfasst sowohl Messungen in Bohrlöchern und Untersuchungen im Gelände als auch Laborexperimente, bei denen unglaublich geringe Mengen von Fluiden analysiert werden.

Minerale enthalten oft winzige, nur wenige tausendstel Millimeter große Einschlüsse von Flüssigkeiten und Gasen. Was dem Juwelier Verdruss bereitet, ist für Geowissenschaftler eine wichtige Informationsquelle: Die Fluide verraten ihnen etwas über die Bedingungen, unter denen die Minerale entstanden sind.

Um der Natur auf die Schliche zu kommen, kapseln Forscher in Modellversuchen winzige Gesteinsproben zusammen mit einem künstlichen Fluid ein, setzen sie Druck- und Temperaturverhältnissen aus, wie sie in großer Erdtiefe herrschen, und untersuchen, welche Reaktionen das bewirkt. Dabei gilt es, Bruchteile eines Milligramms chemisch und mineralogisch zu analysieren.

Neben festen Stoffen und Gasen befördern Fluide, die Transporteure in der Kruste, auch große Mengen von Wärmeenergie. Daher gehören Untersuchungen über das Potential an nutzbarer geothermischer Energie in Deutschland ebenfalls zum Aufgabenbereich des GFZ Potsdam (siehe folgende Seite).

ERDWÄRME

Schätze unter unseren Füßen

Reiche Energiereserven liegen unter unseren Füßen, als Wärme gespeichert im Gestein. Deutschland zählt zwar nicht zu den Regionen mit besonders heißem Untergrund. Doch die Temperatur nimmt überall auf der Erde mit der Tiefe zu, im Durchschnitt um drei Grad Celsius pro 100 Meter.

In einer Studie zur „Evaluierung geowissenschaftlicher und wirtschaftlicher Bedingungen für die Nutzung hydrogeothermaler Ressourcen" kamen Experten des GFZ Potsdam zu dem Schluss, dass Erdwärme in Zukunft in Deutschland eine bedeutsame Rolle als Energiequelle spielen sollte. Für geothermische Heizzentralen genügt schon Wasser von unter 100 Grad, und 60 bis 70 Prozent der von uns genutzten Energie werden als Niedrigtemperatur-Wärme gebraucht. Aber auch Strom soll bei uns aus Erdwärme erzeugt werden.

Für die Wärmegewinnung ausschlaggebend ist nicht allein die Temperatur der Tiefenwässer. Wichtig ist auch ein geeigneter Heißwasserspeicher in der Tiefe: eine hinreichend mächtige Gesteinsschicht mit reichlich Poren, Klüften oder Höhlen und guter Durchlässigkeit. Diese Voraussetzungen sind nach der GFZ-Studie in weiten Teilen des Norddeutschen Beckens, im Alpenvorland und im Oberrheingraben erfüllt. Auch die technischen Grundlagen sind geklärt, wie mehrere seit Jahren gut funktionierende Anlagen zeigen.

So bezieht eine 1995 im mecklenburgischen Neustadt-Glewe errichtete geothermische Heizzentrale 98 Grad heißes Wasser aus 2300 Meter Tiefe. Weil das Wasser extrem salzig ist, wird es, nachdem es über Wärmetauscher einen Heizkreislauf erhitzt hat, durch eine zweite Bohrung in das Ausgangsgestein zurückgepumpt. In Erding bei München hingegen, wo seit 1998 eine geothermische Anlage in Betrieb ist, enthält das Wasser so wenig Mineralstoffe, dass es nach dem Wärmeentzug als Trinkwasser genutzt werden kann.

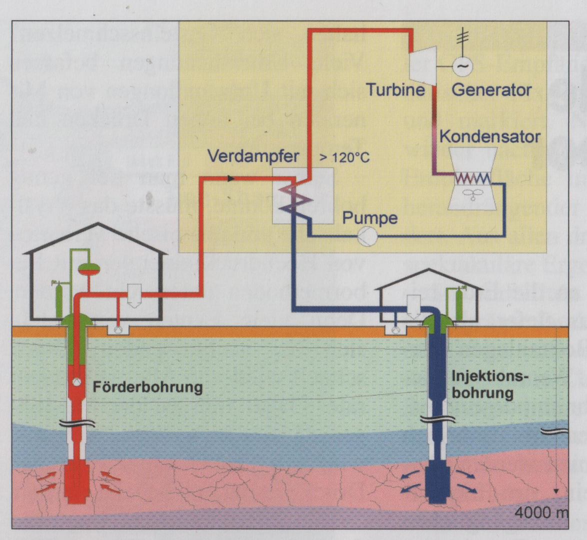
Von den geologischen und technischen Voraussetzungen her gesehen könnten allein im Norddeutschen Becken 17 000 Anlagen Wärme aus der Erde schöpfen. Allerdings kann Niedrigtemperatur-Wärme wirtschaftlich nur dort genutzt werden, wo sie unmittelbar gebraucht wird. Weite Transporte lohnen nicht.

Zwar sind Bohrungen teuer, und das Risiko von Fehlbohrun-

Wärme und Strom aus der Erde

In weiten Teilen Deutschlands sind die geologischen Voraussetzungen günstig, um mit Erdwärme zu heizen. Aber auch Strom soll bei uns aus geothermischer Energie erzeugt werden. Dazu wird heißeres Wasser aus größeren Tiefen benötigt. Nach Abschluss von Untersuchungen bei Groß Schönebeck in Brandenburg (Foto) planen GFZ-Forscher eine Pilotanlage





Einfaches Prinzip

Um aus Erdwärme Strom zu erzeugen, wird mit dem heißen Wasser aus der Tiefe ein Kreislauf mit einer Flüssigkeit erhitzt, die bereits bei niedriger Temperatur siedet. Der so aufgebaute Dampfdruck treibt Turbine und Generator an

gen ist nicht auszuschließen. Ist die Anlage jedoch erst einmal installiert, sind die Betriebskosten für die umweltschonende Wärme aus der Erde gering. Im geothermischen Betrieb fallen keine Stickstoffoxide, kein Schwefeldioxid und kein Kohlendioxid an.

Zur Produktion von Strom wird heißeres Wasser benötigt – man muss tiefer in die Erde gehen. Bei Groß Schönebeck nördlich von Berlin nutzen GFZ-Mitarbeiter eine 4300 Meter tiefe ehemalige Erdgaserkundungsbohrung zu eingehenden Untersuchungen, nach deren Abschluss dort die erste deutsche Anlage zur geothermischen Stromerzeugung entstehen kann. In ihr soll das aus der Tiefe gepumpte 150 Grad heiße Wasser über einen Wärmetauscher Wärme an einen Kreislauf mit einer Flüssigkeit abgeben, die bereits bei niedrigen Temperaturen siedet. Mit dem so aufgebauten Dampfdruck kann eine Turbine angetrieben und Strom erzeugt werden.

Zuvor jedoch muss, damit genügend Wasser fließt, der Heißwasserspeicher in der Tiefe durch künstlich erzeugte Risse durchlässiger gemacht werden. Daran arbeiten die Potsdamer Forscher. Zuversichtlich planen sie auch bereits zusammen mit einem Partner in der Industrie eine Pilotanlage mit einer Leistung von einem Megawatt. Dieses Kraftwerk könnte etwa 1000 Haushalte mit geothermischem Strom versorgen. Der Atmosphäre bliebe dann eine Belastung mit jährlich rund 3000 Tonnen Kohlendioxid erspart.

HOCHDRUCKFORSCHUNG

Die Erde ins Labor geholt

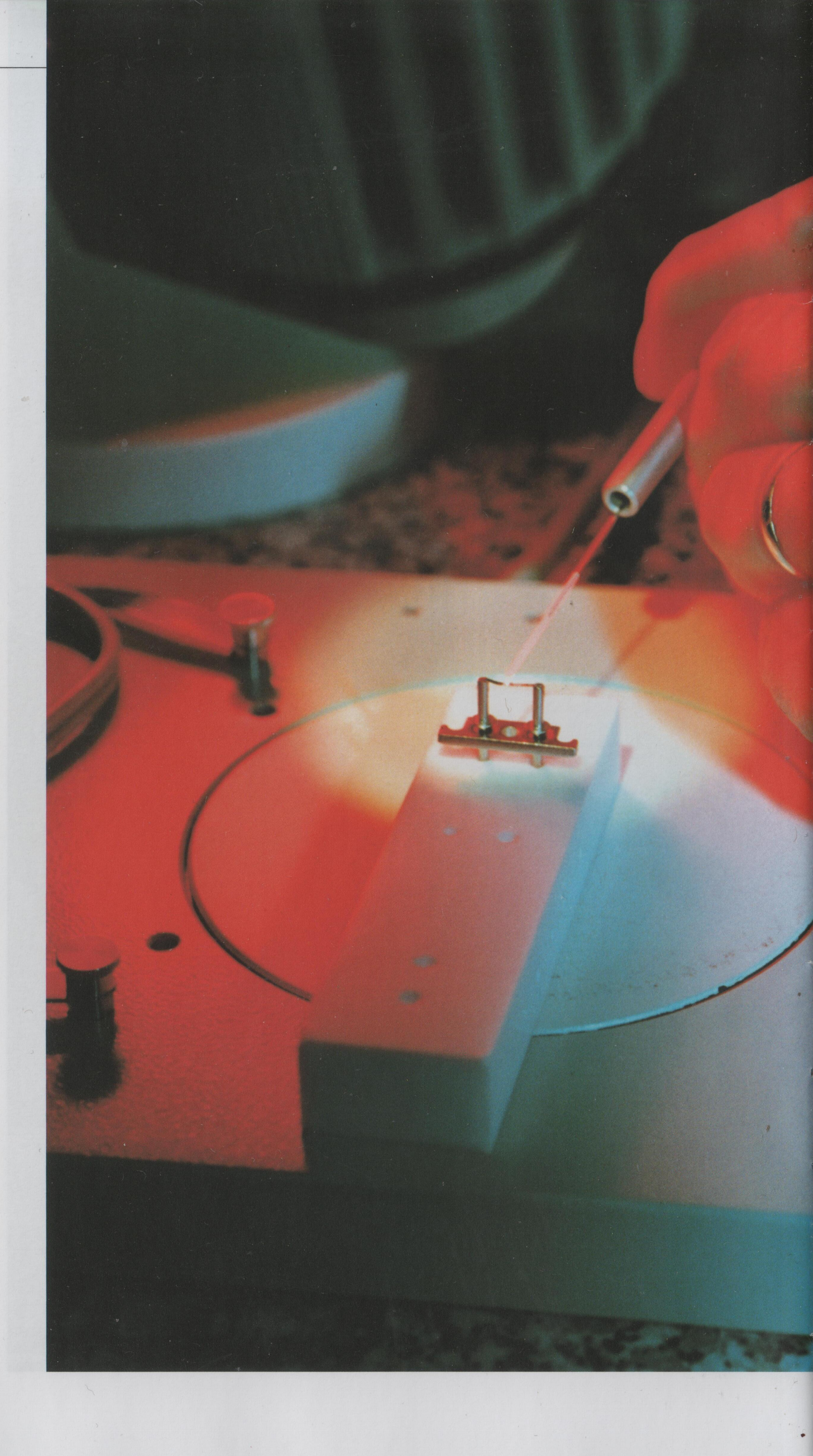
Viele Fragen an die Erde reichen weitaus tiefer als die Einblicke, die Bohranlagen verschaffen können. Wenn keine Gesteinsproben mehr emporgezogen, keine Messungen im Bohrloch mehr vorgenommen werden können, hilft noch eins, um Erkenntnisse über die unzugänglichen Tiefen zu gewinnen: Gesteine im Labor entsprechend hohen Drücken und Temperaturen auszusetzen. Potsdamer Geowissenschaftler nennen das „die Erde ins Labor holen“.

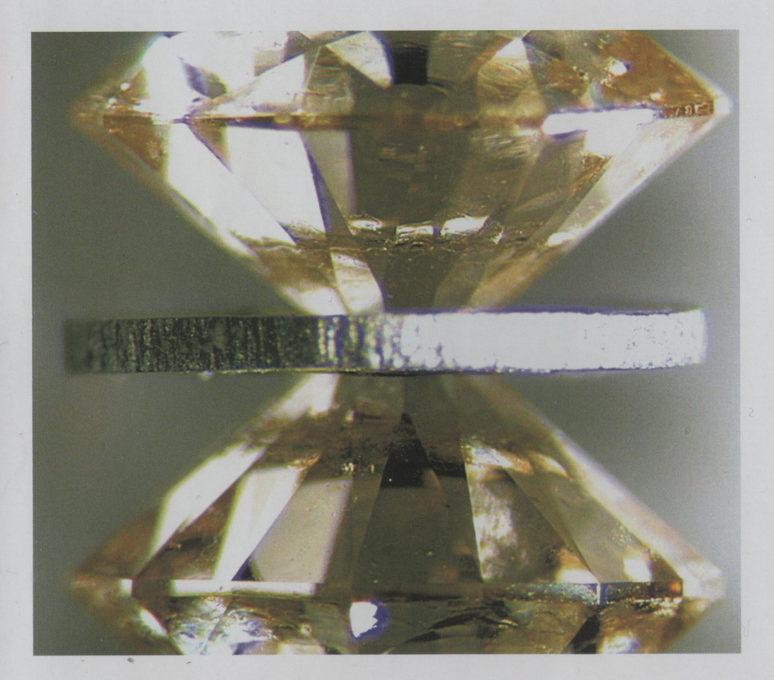
Da werden Gesteinsproben gepresst und erhitzt, als steckten sie Dutzende oder Hunderte von Kilometern unter der Oberfläche. So versucht man herauszufinden, wie die unterschiedlichen Gesteine auf die jeweiligen Bedingungen in der Tiefe reagieren. Zahlreiche Fragen sind zu beantworten, etwa: Wie gut leiten die Gesteine in der Tiefe Wärme? Wie wird die elektrische Leitfähigkeit beeinflusst? Wie verändern sich die Laufzeiten von Erdbebenwellen, wie die Porenräume zwischen den Mineralen und damit die Durchgängigkeit für Fluide? Wie verhalten sich Gesteinsschmelzen? Viele Untersuchungen befassen sich mit Umwandlungen von Mineralen bei hohen Drücken und Temperaturen.

Selbst wenn man tief genug bohren könnte, müsste das physikalische und chemische Verhalten von Hochdruckmineralen mit Labormethoden untersucht werden. Denn viele Exoten verwandeln sich bei nachlassendem Druck schnell wieder in Allerweltsminerale. Daher müssen die Messungen stattfinden, während die meist winzigen Proben unter extremen Druck gesetzt und beheizt werden.

Die unerreichbaren Regionen der Erde mit solch äußerst diffizilen Experimenten zu erforschen, ist für Geowissenschaftler kein Selbstzweck. In der Tiefe spielen sich dynamische Prozesse ab, die das Geschehen an der Oberfläche prägen. Entscheidende Vorgänge bei der Gebirgsbildung laufen ab, Magma steigt auf, Erdbeben nehmen dort unten ihren Ausgang. Die Experimente öffnen Fenster ins Erdinnere.

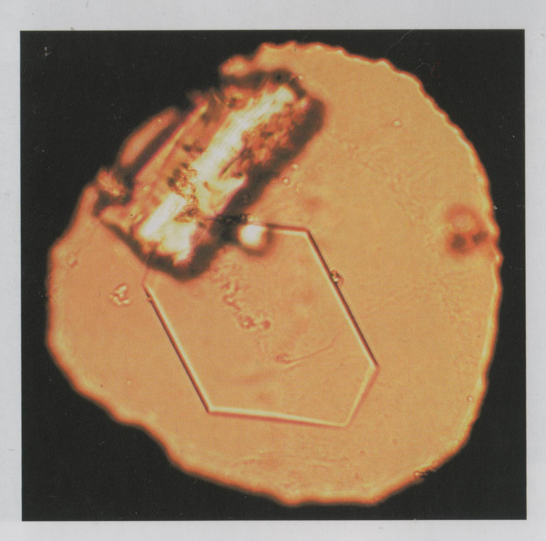
Von unmittelbarem Wert für die Praxis sind Hochdruckexperimente, wenn es etwa gilt, den Wärmefluss aus dem Erdinnern zu bestimmen und damit das Potenzial an nutzbarer geothermischer Energie exakter abzuschätzen. Die Untersuchungen geben auch Aufschluss über Reaktionen, die zur Bildung von Erzlagerstätten führen.

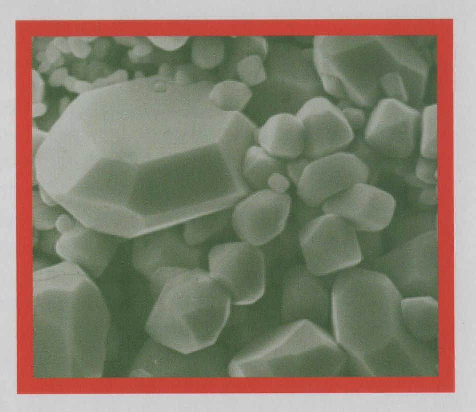




Experimente zwischen Diamanten

Um winzige Proben geht es, wenn Materie in einer Diamantstempelkammer (links) Bedingungen wie im Erdinnern ausgesetzt oder nach einem Experiment mit einem Thermionen-Massenspektrometer (ganz links) analysiert wird. Ein Blick in eine Diamantstempelkammer während eines Experiments zeigt Wasser zusammen mit Quarz und dem sechseckigem Hochdruck-Eis „Eis VI" (unten Mitte). Die in anderen Hochdruckexperimenten erzeugten Monazitkristalle halfen, die Vergangenheit alter Gesteine zu enthüllen





Für ihre Untersuchungen steht den Potsdamer Forschern eine Reihe von Hochdruck-Hochtemperaturanlagen zur Verfügung. Besonders vielseitig einzusetzen sind „Diamantstempelkammern", in denen nur staubkorngroße Proben zwischen zwei speziell geschliffenen Diamanten gepresst, erhitzt und gleichzeitig untersucht werden.

Eine einzigartige Kombination von Eigenschaften prädestiniert gerade Diamanten für solche Versuche: Unter allen bekannten Materialien haben sie die höchste Festigkeit und die höchste Wärmeleitfähigkeit, sind elektrische Isolatoren und reagieren unter den meisten Bedingungen nicht mit dem Probenmaterial. Sie sind transparent nicht nur für Licht, sondern auch für Strahlen in einem großen Bereich des elektromagnetischen Spektrums sowie für Ultraschall. Dadurch können die Proben während der Experimente mit verschiedenen optischen, spektroskopischen und röntgenographischen Verfahren sowie mit Ultraschall-Interferometrie untersucht werden.

Nicht zuletzt können die Forscher durch ein Mikroskop auch direkt verfolgen, was in der Diamantenkammer geschieht – wie sich etwa aus einer urspünglich homogenen Schmelze beim Abkühlen Teilschmelzen bilden, in denen jeweils bestimmte Elemente besonders angereichert sind.

TUNNELBAU

Vorausschau im Untergrund

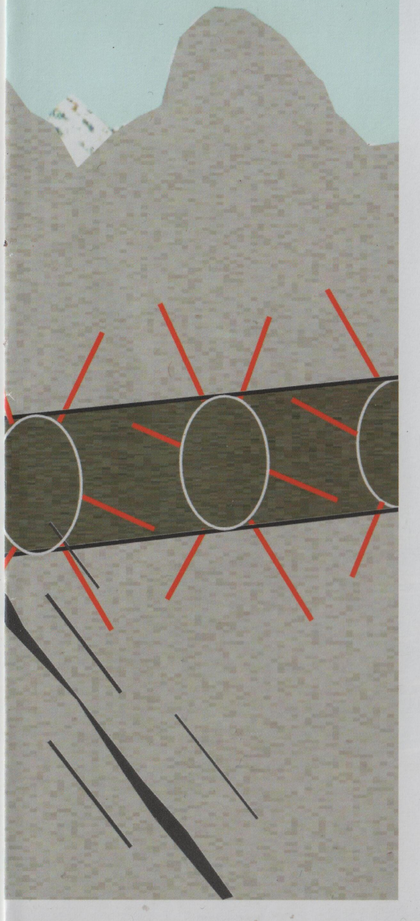
Will man in der Schweiz schnell vorankommen, sind immer Berge im Weg. Drei Stunden und 40 Minuten braucht der schnellste Zug für die Strecke Zürich–Mailand trotz Gotthard-Tunnel: Der 1872 bis 1882 gebaute Eisenbahntunnel liegt zu hoch. Die Züge müssen erst beschwerlich an Höhe gewinnen, bevor sie 15 Kilometer weit unter dem Bergmassiv durchsausen können. Der neue Gotthard-Basistunnel, tiefer gelegen und 57 Kilometer lang, soll Abhilfe schaffen. Nach Fertigstellung des Basistunnels, des längsten und zugleich tiefsten Eisenbahntunnels der Welt, im Jahre 2015 werden Züge die Alpen unbehindert passieren: in eineinhalb Stunden von Zürich nach Mailand.

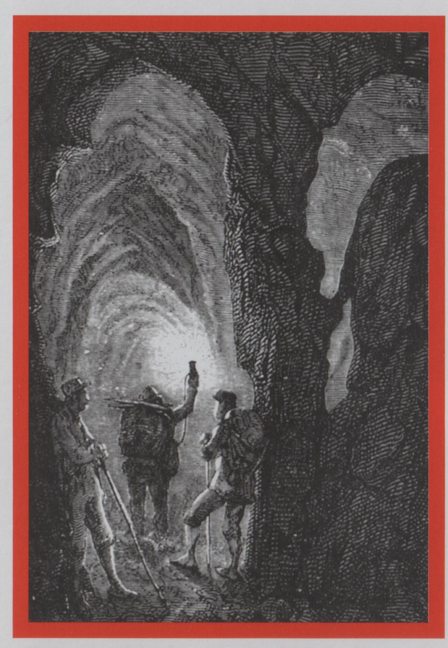
Mitarbeiter des GFZ Potsdam sind bei den Bauarbeiten mit einem revolutionären neuen Konzept dabei. Mit dem von ihnen entwickelten Integrierten Seismischen Imaging System (ISIS) nehmen sie im Zugangsstollen Faido und im Piora-Erkundungsstollen seismische Messungen vor. Mithilfe künstlich erzeugter Erdbebenwellen erkunden sie geologische

Tunnelbau mit ISIS

Um Überraschungen durch Störungszonen zu vermeiden, haben GFZ-Forscher ein seismisches Verfahren zur Vorausschau ausgearbeitet, bei dem das Gestein quasi durchleuchtet wird. Mit einem pneumatischen Hammer werden Schallwellen erzeugt (Foto rechts). Zahlreiche Geophone fangen die zurückgeworfenen Echos auf, die von eigens entwickelten Computerprogrammen analysiert werden. Die Geophone stecken in den Spitzen der Gebirgsanker (auf der Zeichnung rot), die ohnehin im Tunnel eingebaut werden (Foto ganz rechts)







„Reise zum Mittelpunkt der Erde": Jules Vernes Helden fanden schon Tunnel vor



Störungen im Vortriebsbereich, der vor den Tunnelbauern liegt.

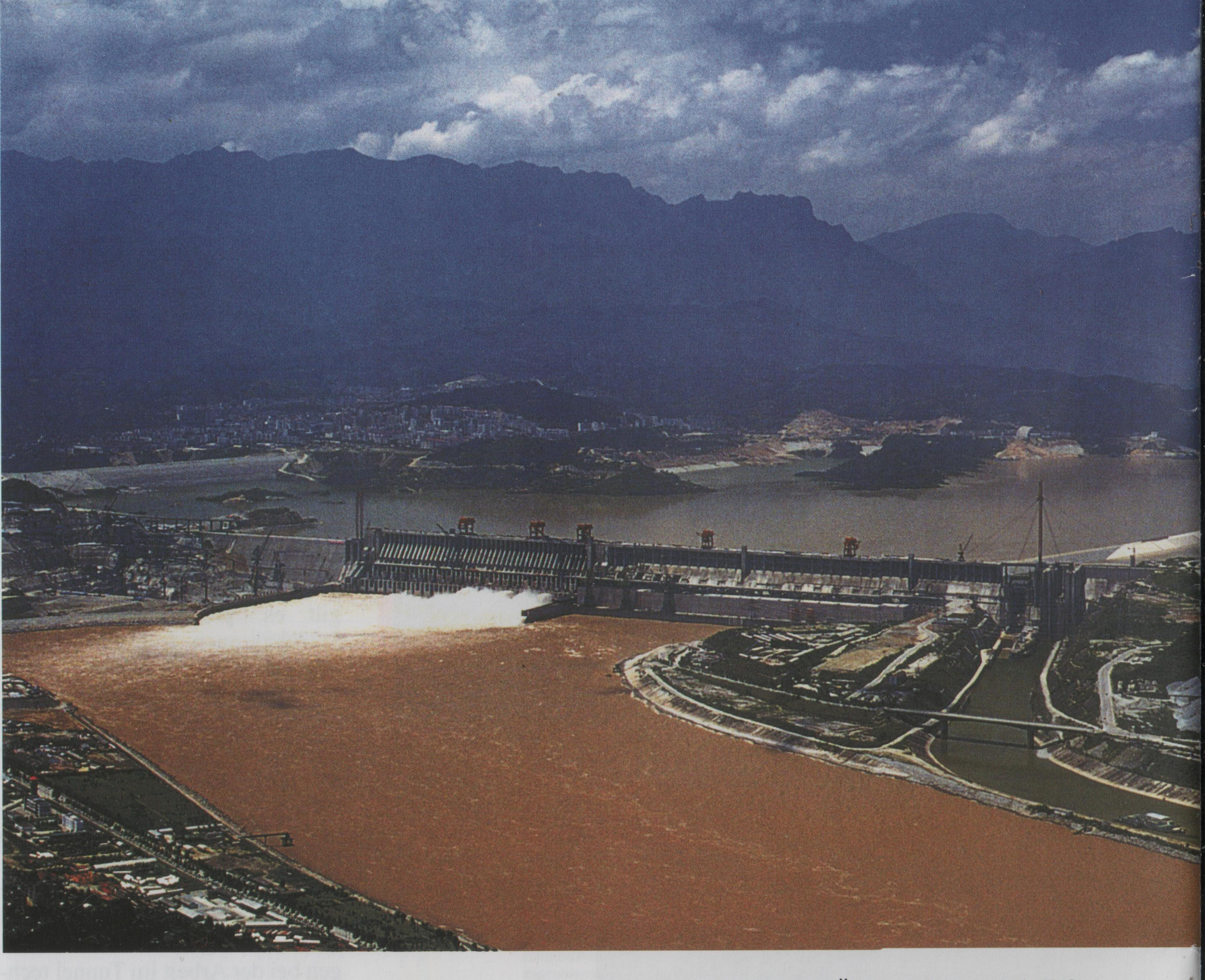
Die Alpen sind kein homogenes Gebirge, sondern eine komplizierte Knautschzone mit zahllosen Falten und Brüchen. Gesteine unterschiedlicher Festigkeit wechseln häufig. Geowissenschaftler und Ingenieure sind mit hohen Gebirgsspannungen, starker Klüftung und drohenden Wassereinbrüchen konfrontiert. Um das Risiko möglichst gering zu halten, gilt es, potenziell gefährliche Störungszonen frühzeitig zu erkennen.

Dazu eignen sich Schallwellen, mit denen das Gestein quasi durchleuchtet wird. Wie immer in der Seismik geht es um die Geschwindigkeit, mit der die Wellen das Gestein durchlaufen. In Störungszonen fällt die Geschwindigkeit ab. Mit ISIS haben die Potsdamer Forscher ein Konzept erarbeitet, das für solche Messungen bei der Arbeit im Tunnel technisch einfach anzuwenden ist, kaum zusätzlichen Aufwand erfordert und insbesondere den laufenden Betrieb nicht stört.

Mit einem an einem Kleinbagger angebrachten pneumatischen Hammer, der gegen die Felswand schlägt, werden die Wellen erzeugt. Spezielle Empfänger, Geophone, fangen die aus dem Gebirge zurückgeworfenen Echos auf, die dann mithilfe von ebenfalls am GeoForschungsZentrum entwickelten Computerprogrammen analysiert werden. Der Clou des in allen Komponenten perfekt aufeinander abgestimmten Systems ist die Unterbringung der Geophone. Die miniaturisierten Geräte stecken in den Spitzen der Gebirgsanker, die ohnehin als Sicherungselemente im Tunnel eingebaut werden, um den Zusammenhalt des Gesteins zu stärken und damit die Stabilität der Tunnelwand zu erhöhen.

Die Ankerstangen mit dem integrierten Geophonkopf werden in ein zuvor mit Klebepatronen gefülltes Bohrloch eingeführt. Durch Drehen des Stabes vermischen sich die bis dahin getrennten Kleberkomponenten. Nach wenigen Minuten ist der Kleber ausgehärtet und verbindet Anker und Geophon fest mit dem Gestein. Die aufgenommenen Daten werden über einen Stecker am hinteren Ende des Stabes zum Aufzeichnungsgerät übertragen.

Durch den Einsatz Dutzender von Geophonen, die gleichzeitig Echos derselben Schallquellen registrieren, entsteht ein dreidimensionales Abbild des umgebenden Gesteins, in dem sich Störungszonen durch abnehmende Geschwindigkeit der Erdbebenwellen abzeichnen. Umgekehrt können bei gleichbleibender oder zunehmender Geschwindigkeit Problemzonen für die nächsten 100 bis 200 Meter Tunnelstrecke mit großer Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden.



ERDRUTSCH-ÜBERWACHUNG

Drei Schluchten voller Wasser

Wahrlich gigantisch: Als größter Stausee in China hat das Drei-Schluchten-Projekt beeindruckende Zahlen vorzuweisen. Mit einer Gesamtlänge von über 600 km, einer durchschnittlichen Breite von 1,1 km und einer Stauhöhe von 175 m erreicht die Kapazität des Stausees 39,3 Milliarden Kubikmeter. Drei Schluchten – daher der Name – werden mit dem Wasser des Jangtse-Flusses gefüllt. Die Länge des Stauseeufers, die Speicherkapazität, der Umfang der notwendigen Umsiedlungen und der ökologische Einfluss sind weltweit unvergleichlich.

Das Projekt birgt aber auch Risiken. Entlang der Ufer des Stausees hat sich ein Potential geologischer Gefahren wie Erdrutsche und Felsstürze aufgebaut und viele davon sind gegenwärtig aktiv. Mehr als zweitausend große Rutschungsmassen sind entlang der Stauseeufer entdeckt worden. Seit 1982 traten mehr als 70 Erdrutsche, Einstürze und Schlammströme auf und verursachten beträchtliche Schäden. Wenn in wenigen Jahren der Wasserspiegel die geplanten 175 Meter Höhe erreicht, wird die Anzahl der tatsächlich und potentiell instabilen Erdrutschgebiete etwa 1130 betragen.

Daher ist die Gefahrenüberwachung und -vorbeugung in der Drei-Schluchten-Region schon während der Planungs- und Bauphase, aber auch für den späteren Betrieb des Stausees ein wichtiges Thema. Die Einrichtung eines Gefahrenüberwachungs- und Vorhersagesystem und ingenieur-geologische Untersuchungen sind nötig, um das Ökosystem der Region besser zu schützen. Die Änderungen der geologischen, ökologischen und atmosphärischen Umwelt, besonders die Erdrutsch- und Felssturz-Phänomene in der Drei-Schluchten-Region, müssen untersucht und überwacht werden.

Zur Überwachung und Erfassung von Erdrutschen und Felsstürzen entlang der Ufer des Jangtse-Flusses wird von GFZ-Wissenschaftlern die Radar-Satelliten-Technik (D-INSAR) genutzt. Spezielle Reflektoren mit rechtwinklig zueinanderstehenden Ebenen werden am Boden in einigen kritischen Gebieten installiert.

Der Xintan-Erdrutsch und das gefährdete Lianziya-Felsmassiv in der Drei-Schluchten-Region wur-



Der Damm am Jangtse

Das Radarbild zeigt die gewaltigen Ausmaße des Drei-Schluchten-Projektes (das dargestellte Gebiet beträgt 32 x 16 Kilometer). Gespaltene Felsen neigen sich gefährlich über das Gebiet von Lianzija. Die Bewegung der rutschenden Erdmassen kann präzise mit Winkelreflektoren vom Satelliten aus gemessen werden.

den als Hauptuntersuchungsgebiete ausgewählt. Nicht rein zufällig: am 12. Juni 1985 ereignete sich ein großer Erdrutsch bei der Stadt Xintan, Provinz Hubei. Der Erdrutsch war 1900 Meter lang und 210 bis 710 Meter breit, sein Gesamtvolumen betrug etwa 30 Millionen Kubikmeter. 2,6 Millionen Kubikmeter an Geröllmassen stürzten dabei in den Fluss.

Dieser Erdrutsch ist immer noch aktiv, allerdings scheint es eine Tendenz zur Stabilisierung zu geben. Der Anstieg des Wasserspiegels auf 175 Meter wird in den nächsten Jahren weitere Destabilisierungen dieser und anderer Erdmassen verursachen. Um den Xintan-Landrutsch zu überwachen, wurden vier Reflektoren auf seinem Rücken installiert und weitere sechs auf dem gegenüberliegenden, ebenso stark gefährdeten Lianziya-Felsmassiv. Aus Messreihen von August 2003 bis Mai 2004 wurde die durchschnittliche Bewegungsrate für jeden Winkel-Reflektor berechnet. Die Ergebnisse zeigen, dass sich der Xintan-Erdrutsch während dieser Zeit um 4 Millimeter pro Jahr bewegte, während der Lianziya-Felssturz stabil blieb.

DIE BIOSPHÄRE IN DER TIEFE

Leben unter extremen Bedingungen

Die Erde ist ein besonderer Planet: auf ihm herrscht Leben. Von oben, aus dem Weltraum betrachtet, bietet sich die Biosphäre schon auf den ersten Blick als grüne Vegetation dar. Das Leben ist ein integraler Bestandteil des Systems Erde. Dennoch war die Entdeckung eines weitverbreiteten mikrobiellen Lebens unterhalb der Erdoberfläche in den letzten Jahren eine Überraschung.

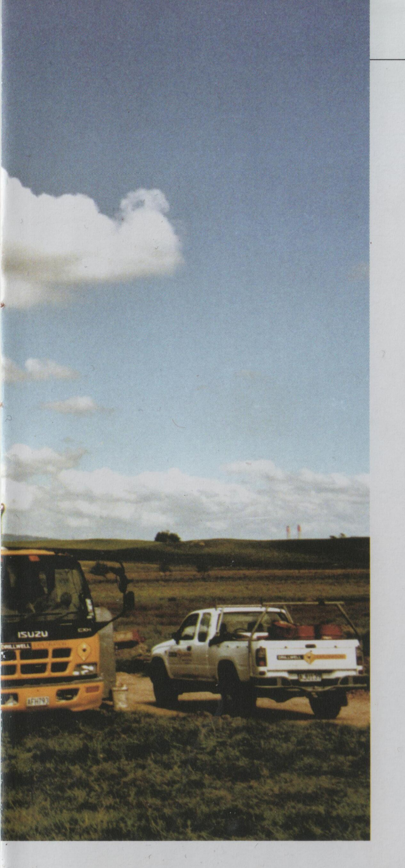
Mit der Tiefe nehmen Druck und Temperatur in der Erde um 10 bis 20 MegaPascal und 20 bis 50 °C pro Kilometer zu. Mikrobielles Leben ist in etlichen Kilometern Tiefe in unwirtlicher Umgebung, bei Drücken von 60 Mpa und 120 °C, nachgewiesen worden. Der Lebensprozess dieser Organismen ist unklar. Möglicherweise laufen organische und anorganische Umwandlungsprozesse ab, die zur Freisetzung von Verbindungen führen, welche als Nahrungsgrundlage dieser "Tiefen Biosphäre" beitragen können. Solche gekoppelten Bio-Geosysteme können dabei in unterschiedlichen Tiefenzonen der Erdkruste vorkommen und über Kanäle bis an die Oberfläche gelangen. Im Atlantischen Ozean zum Beispiel wurden 200 Kilometer westlich von Irland in einer Wassertiefe zwischen 300 und 700 Metern in der Nähe natürlicher Ölaustritte Kaltwassser-Korallenriffe entdeckt.

Proben, die dort mit einem Tauchroboter genommen wurden, ließen vermuten, dass eine Verbindung zwischen dem Vorkommen dieser Riffe und den Stellen am Meeresboden besteht, an denen Kohlenwasserstoffe austreten. GFZ-Wissenschaftler konnten die Entstehung von Erdöl und Erdgas bei der geologischen Entwicklung von Meeresbecken mit der Entstehung der Kaltwasserriffe in Verbindung bringen. Computersimulationen der Beckenentwicklung zeigten, dass bestimmte Sandsteine aus der Kreidezeit und aus dem Tertiär wichtige Wanderungsbahnen für Erdgas darstellen. Bakterien verwenden das aus dem Meeresboden austretende Methan als Nahrungsquelle und bildeten Hartgründe - die Grundlage für die heutigen Karbonatriffe.

Eine erste Abschätzung der Biomasse der sogenannten "Tiefen Biosphäre", deren Menge mit der Biomasse der Erdoberfläche vergleichbar zu sein scheint, unterstreicht die Bedeutung dieser weitgehend verborgenen Welt und der dort ablaufenden mikrobiellen Prozesse für das Verständnis des Ökosystems Erde. Vor allem die

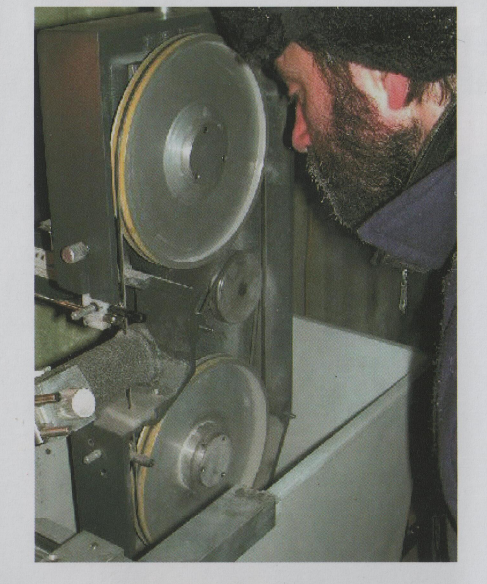


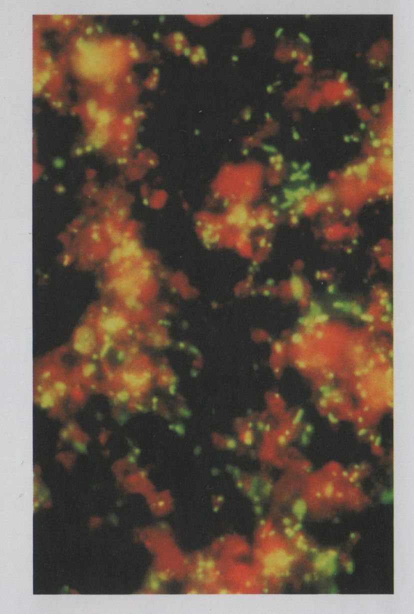




Bohren in die tiefe Biosphäre

Ein Bohrkern aus der Huntly-Bohrung auf der neuseeländischen Nordinsel zeigt Kohle-Fragmente – eine potenzielle Nahrungsquelle für mikrobielle Lebensgemeinschaften in der Tiefe.
Bohrkerne an der Mallik-Bohrung in der Permafrost-Region Nordwestkanadas werden untersucht.
Eine genauere Untersuchung ist unter dem Gaschromatographen/Massenspektrometer möglich.
Bakterien aus der Tiefen Biosphäre werden durch Acridin-Orange grün eingefärbt.





Charakterisierung mikrobieller Lebensgemeinschaften auf molekularer Basis kann dazu beitragen abzuschätzen, wie das Leben im System Erde verteilt ist.

In den bakteriellen Zellwänden finden sich organische Moleküle, Membranlipide, die beim Absterben dieser Mikroorganismen sehr schnell abgebaut werden. Findet man bestimmte intakte Membranlipide in tiefliegenden Sedimenten, hat man damit einen Indikator für Leben. Zusätzlich vollzieht man die geologische Entwicklung des Untersuchungsgebietes mit Computermodellen nach, um die dort ablaufenden thermisch kontrollierten Prozesse besser in ihrer zeitlichen Abfolge zu verstehen. Aus dieser Kombination von biogeochemischen Analysemethoden und geologischer Prozessmodelierung zeigt sich, dass in Sedimenten von bis zu 15 Millionen Jahre Alter (über 5,5 km unter dem Meeresspiegel) intakte Lipide existieren. Daraus folgt, dass also ein gekoppeltes Bio-Geosystem unter diesen Hochdruck- und Hochtemperatur-Bedingungen durchaus möglich ist.

Auch bei in Sedimenten eingebetteten Gashydraten können solche Spuren des Lebens nachgewiesen werden. Bei Methanhydrat-Forschungsbohrungen im Permafrost Nordwest-Kanadas fanden GFZ-Wissenschaftler Membranlipide bis zu einer Tiefe von 1063 Metern.

BOHRPROGRAMM ICDP

Gemeinsam in die Tiefe

Als im September 1987 bei Windischeschenbach in der Oberpfalz die Bohrarbeiten am Kontinentalen Tiefbohrprogramm der Bundesrepublik Deutschland (KTB) aufgenommen wurden, ahnte wohl niemand, welch weit reichende Folgen sich ergeben würden.

Das anspruchsvolle KTB-Projekt, bei dem über neun Kilometer tief in heißes kristallines Hartgestein vorgestoßen wurde, war nicht nur wissenschaftlich und technisch ein großer Erfolg. Es entwickelte sich überdies zum Schrittmacher für ein internationales kontinentales Bohrprogramm, in dem Deutschland nun eine führende Rolle spielt. Die Verantwortung für die Organisation des ICDP (International Continental Scientific Drilling Program) wurde dem GeoForschungsZentrum Potsdam übertragen, das dafür bewährte Mitarbeiter bereitstellte.

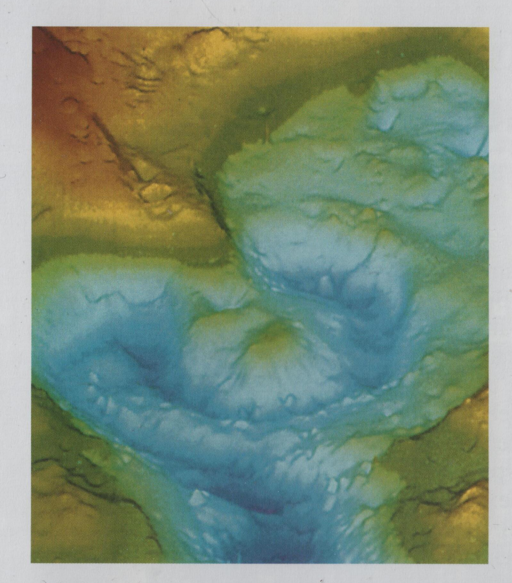
Der offizielle Start fand im Februar 1996 statt, als die USA, China und Deutschland einen Vertrag über die Durchführung gemeinsamer Bohrprojekte unterzeichneten. Japan, Mexiko, Polen, Kanada, Österreich und die UNESCO sind inzwischen hinzugekommen.



Der Bohrmeißel muss ausgewechselt werden: Schnappschuss aus dem Bohrturm des KTB-Projekts in der Oberpfalz

Wissenschaftliche Bohrungen, bei denen es nicht um Erdöl oder andere Bodenschätze geht, sind für die moderne Forschung unverzichtbar, denn sie verschaffen einzigartige direkte Einblicke in die Erdkruste. Sie verhelfen zum Verständnis der Prozesse, die im „System Erde“ ablaufen, und können entscheidend zur Lösung drängender sozioökonomischer Fragestellungen beitragen. Und nicht allein das: Nur durch Bohrungen lassen sich die indirekten Verfahren der geophysikalischen Tiefenerkundung „eichen“.

Doch solche Bohrungen sind sehr kostspielig. Die eigentliche Bohrphase ist in der Regel mit umfangreichen Arbeiten zur Vorerkundung, mit begleitenden Feldexperimenten und Laboruntersuchungen, mit Tests und Langzeitmessungen in den Bohrlöchern sowie einer Periode intensiver Auswertung verbunden. Eine internationale Kooperation führt zur Kostenteilung und begünstigt die Konzentration auf wirklich lohnende geologische Schlüsselstellen (World Geological Sites) sowie die optimale Nutzung von Ressourcen und Know-how.



Nach deutschem Vorbild

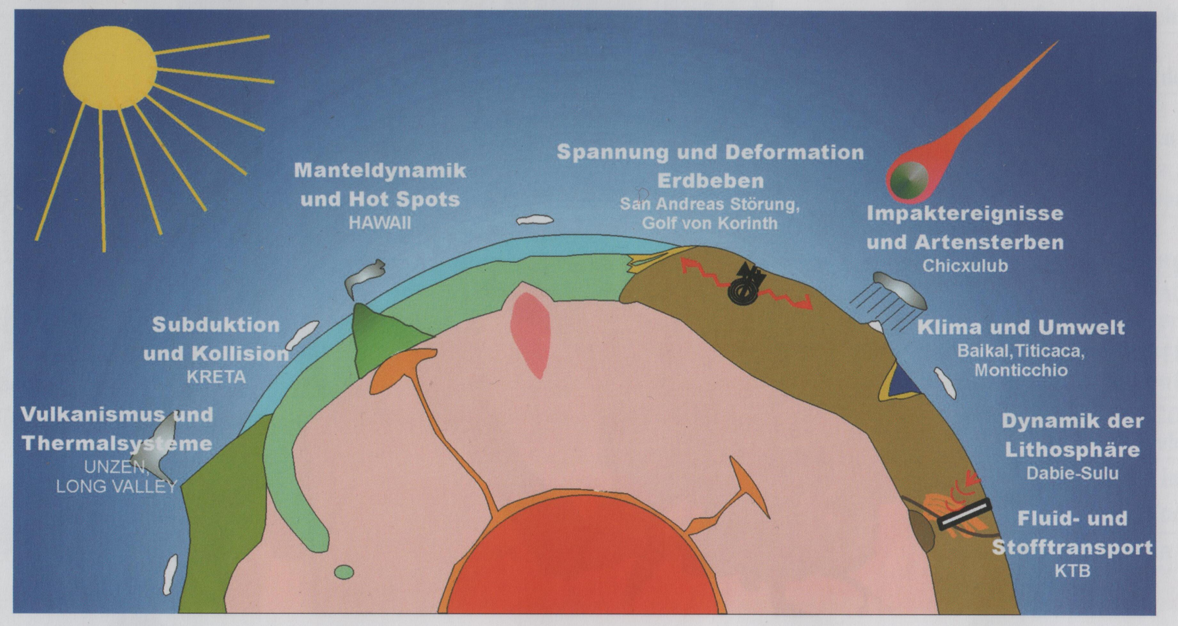
Das internationale Bohrprogramm ICDP umfasst ein breites Spektrum geowissenschaftlicher Schlüsselthemen. Im Dezember 2001 wurde in den etwa 200 Kilometer weiten Meteoritenkrater Chicxulub, Mexiko, gebohrt, der hier nach Schweremessungen dargestellt ist (links)

In den laufenden oder in konkreter Vorbereitung befindlichen ICDP-Projekten geht es unter anderem um

- die Entstehung von Erdbeben (San-Andreas-Störungszone in den USA);
- die Mechanismen beim Ausbruch hochexplosiver Vulkane (Unzen in Japan);
- die Nutzung von Erdwärme in Vulkangebieten (Long Valley Caldera in den USA);
- die Auswirkungen katastrophaler Meteoriteneinschläge auf Leben und Umwelt (Meteoriteneinschlagskrater Chicxulub in Mexiko);
- das in Seeablagerungen (siehe Seite 26) dokumentierte Klima der Vergangenheit (Vulkankraterseen in Europa und Asien; Baikalsee; Titicacasee; Malawisee);
- die Beziehungen zwischen einer Dehnung der Erdkruste und dem Auftreten von Erdbeben (Golf von Korinth in Griechenland).

Zu den aktuellen Untersuchungen zählen auch Arbeiten an der Bohrstelle des deutschen KTB-Projekts in der Oberpfalz, von dem das internationale Programm seinen Ausgang nahm. Die beiden nur 200 Meter voneinander entfernten Bohrungen, sowohl die 4000 Meter tiefe Pilotbohrung als auch die 9100 Meter tiefe Hauptbohrung, dienen als weltweit einzigartiges Experimentierfeld mit der tiefsten zugänglichen Bohrung der Erde. So werden ab 2002 in einem Langzeit-Pump-Experiment große Mengen Fluide gewonnen und auf ihre Zusammensetzung, ihre Herkunft und ihre Einwirkungen auf die kontinentale Kruste untersucht.

1999 ermöglichte dieses „Deep CrustLab“ ein seismisches Experiment, bei dem künstlich erzeugte Erdbebenwellen in verschiedenen Tiefen registriert wurden. Ergebnis ist ein hochaufgelöstes dreidimensionales Bild einer Knautschzone im Untergrund, die vor über 300 Millionen Jahren bei einem Zusammenstoß des europäischen und des afrikanischen Kontinents entstand.



Eine Drehscheibe internationaler Kommunikation und Kooperation

Das Bild des Forschers in der Öffentlichkeit ist oft seltsam antiquiert: geprägt durch Heroen der Wissenschaft wie Robert Koch, Hermann von Helmholtz oder Albert Einstein, die im Alleingang neue Welten des Wissens erschlossen.

Doch Einzelkämpfer spielen in der Forschung eine immer geringere Rolle. Gerade in den Geowissenschaften sind Kooperationen über alle Grenzen hinweg von ausschlaggebender Bedeutung. An vielen Projekten sind nicht nur GFZ-Mitarbeiter unterschiedlicher Fachrichtungen beteiligt, sondern auch Wissenschaftler anderer Einrichtungen. Es ist geradezu die Aufgabe des GFZ Potsdam, verstreute Forschungsaktivitäten zu schlagkräftigen Programmen zu bündeln – national und vor allem auch international.

Die vorstehenden Berichte belegen das nachdrücklich. Das Internationale Kontinentale Bohrprogramm ICDP, das Programm ELDP zur Untersuchung europäischer Seesedimente und seine Verknüpfung mit dem asiatischen Gegenstück ALDP, der Internationale GPS-Service für Geodynamik, die seismischen Projekte in den Anden wie im israelisch-jordanischen Grenzgebiet sind prominente Beispiele internationaler Zusammenarbeit, an denen das GeoForschungsZentrum jeweils maßgeblich beteiligt ist. Die Daten, die der Satellit CHAMP liefert, sind international begehrt und werden von zahlreichen Forschergruppen genutzt. Potsdam ist mehr und mehr zu einer Drehscheibe globaler Kommunikation und Kooperation in den Geowissenschaften geworden.

Die Projekte MERAPI und READINESS, bei denen es um frühzeitige Warnungen vor folgenschweren Vulkanausbrüchen und Erdbeben geht, wurden am GFZ Potsdam als Beiträge der Bundesrepublik Deutschland zur Internationalen Dekade für Katastrophenvorbeugung entwickelt. Immer sind zumindest die Gastgeberländer beteiligt, so auch bei den aktuellen Untersuchungen am potentiell hochgefährlichen mexikanischen Vulkan Popocatépetl.

Die deutsche „Disaster Task Force“, auf Initiative und unter Leitung des GFZ Potsdam ebenfalls zur Internationalen Dekade für Katastrophenvorbeugung in den 90er Jahren eingerichtet und nun fortgeführt, ist zum schnellen weltweiten Einsatz von wissenschaftlich-technischen Expertengruppen nach schweren Erdbeben bestimmt. Task-Force-Gruppen rückten, zum Teil mehrfach, nach Chile und Venezuela, Indien, Griechenland und immer wieder in die Türkei aus, mit der eine langjährige intensive Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Erdbebenforschung besteht. Durch eine Analyse der Erdbebenschäden und ihrer Ursachen, durch die Regis-







Partner in aller Welt

Alljährlich organisiert das GeoForschungsZentrum für Seismologen und Ingenieure aus erdbebengefährdeten Ländern Trainingskurse, die abwechselnd in Potsdam und einem Entwicklungsland stattfinden. Hier werden oft bleibende Kontakte geknüpft

trierung hydrogeologischer Veränderungen sowie die Aufzeichnung und eingehende Untersuchung der Nachbeben erhoffen sich die Task-Force-Mitarbeiter Einsichten, die bei künftigen katastrophalen Beben zur Verringerung der Schäden beitragen.

Im Rahmen seines GEOFON-Projekts hat das GeoForschungsZentrum hochleistungsfähige permanente Erdbebenstationen in verschiedenen Ländern und zusammen mit diesen eingerichtet – als deutschen Beitrag zu einem internationalen Netz, mit dem Strukturen im tieferen Erdmantel untersucht werden sollen. Beim Erstellen einer Weltkarte der Erdbebengefährdung übernahm das GFZ Potsdam als eines von vier „Superzentren" die Verantwortung für Europa einschließlich des Mittelmeerraumes, den Nahen und Mittleren Osten sowie Afrika. Von unmittelbar praktischer Bedeutung ist eine unter führender Beteiligung von GFZ-Forschern ausgearbeitete neue Skala zur Bewertung von Erdbebenschäden (European Macroseismic Scale), die inzwischen global Beachtung findet. Neu ist daran vor allem das auf das Ingenieurwesen abgestimmte Konzept.

In einer Zeit rasanter Entwicklung auf den Gebieten der Rechnertechnik, der Telekommunikation und der Softwaretechnologie nimmt das GFZ-Daten- und Rechenzentrum (DRZ) eine zentrale

Stellung ein im Bemühen um internationale geowissenschaftliche Kommunikation. Das DRZ erfasst und analysiert die vielfältigen Daten und Informationen aus aller Welt, die in einem multidisziplinären Forschungsverbund wie dem GFZ Potsdam anfallen, um



Exkursion von Kursteilnehmern in Nicaragua zum Vulkan Cerro Negro

sie wissenschaftlichen Nutzern verfügbar zu machen.

Zur Organisation internationaler Programme wie zum Erfahrungsaustausch veranstaltet das GeoForschungsZentrum Arbeitstagungen, Kongresse, Symposien. Da treffen sich in Potsdam Experten für die wissenschaftliche Erdvermessung, für den Erdmagnetismus oder die Erdrotation, für Flüssigkeitseinschlüsse in Mineralen oder spezielle Fragen der Sedimentforschung. Oder es geht um die Zeit vor rund 250 Millionen Jahren, als der Superkontinent Pangaea, zu dem damals sämtliche Landmassen der Erde zusammengedriftet waren, wieder zerbarst.

Treffen ganz anderer Art sind die jährlich abgehaltenen, abwechselnd in Potsdam und einem Land der Dritten Welt durchgeführten internationalen Trainingskurse für Seismologen und Ingenieure aus erdbebengefährdeten Ländern. Mehr als 500 Teilnehmer aus über 80 Ländern hatten, gefördert vom Auswärtigen Amt, der UNESCO und einer Reihe anderer Institutionen, bereits Gelegenheit, sich jeweils vier bis sechs Wochen lang durch Vorlesungen, Übungen, Geländeexkursionen und Besichtigungen fortzubilden.

Durch die Kurse sollen die Teilnehmer in die Lage versetzt werden, den Katastrophenschutz in ihren Ländern zu verbessern. Doch die Übermittlung von Wissen verläuft nicht einseitig. Die beteiligten deutschen Experten schätzen die Möglichkeit, langfristige Kontakte aufzubauen und sich über die Bedingungen und Probleme, unter denen in den Heimatländern der Teilnehmer Katastrophenbekämpfung und -vorbeugung stattfinden können, aus erster Hand zu informieren.

Wenn Sie mehr wissen wollen

Auskunft über das GFZ Potsdam gibt der Referent für Öffentlichkeitsarbeit, Franz Ossing. Er ist unter der Adresse Telegrafenberg, D-14473 Potsdam, über Telefon (0331-2881040), Fax (0331-2881044) und e-mail (**ossing@gfz-potsdam.de**) zu erreichen.

Das Internet bietet unter **http://www.gfz-potsdam.de** eingehende Informationen über das GFZ Potsdam.

Eine Fundgrube für Leser mit geowissenschaftlichen Vorkenntnissen sind die regelmäßig erscheinenden Zweijahresberichte.

IMPRESSUM

Herausgeber:
GeoForschungsZentrum Potsdam
Telegrafenberg
14473 Potsdam
Verantwortlich:
Dr. Jörn Lauterjung

Konzept und Text:
Dr. Erwin Lausch

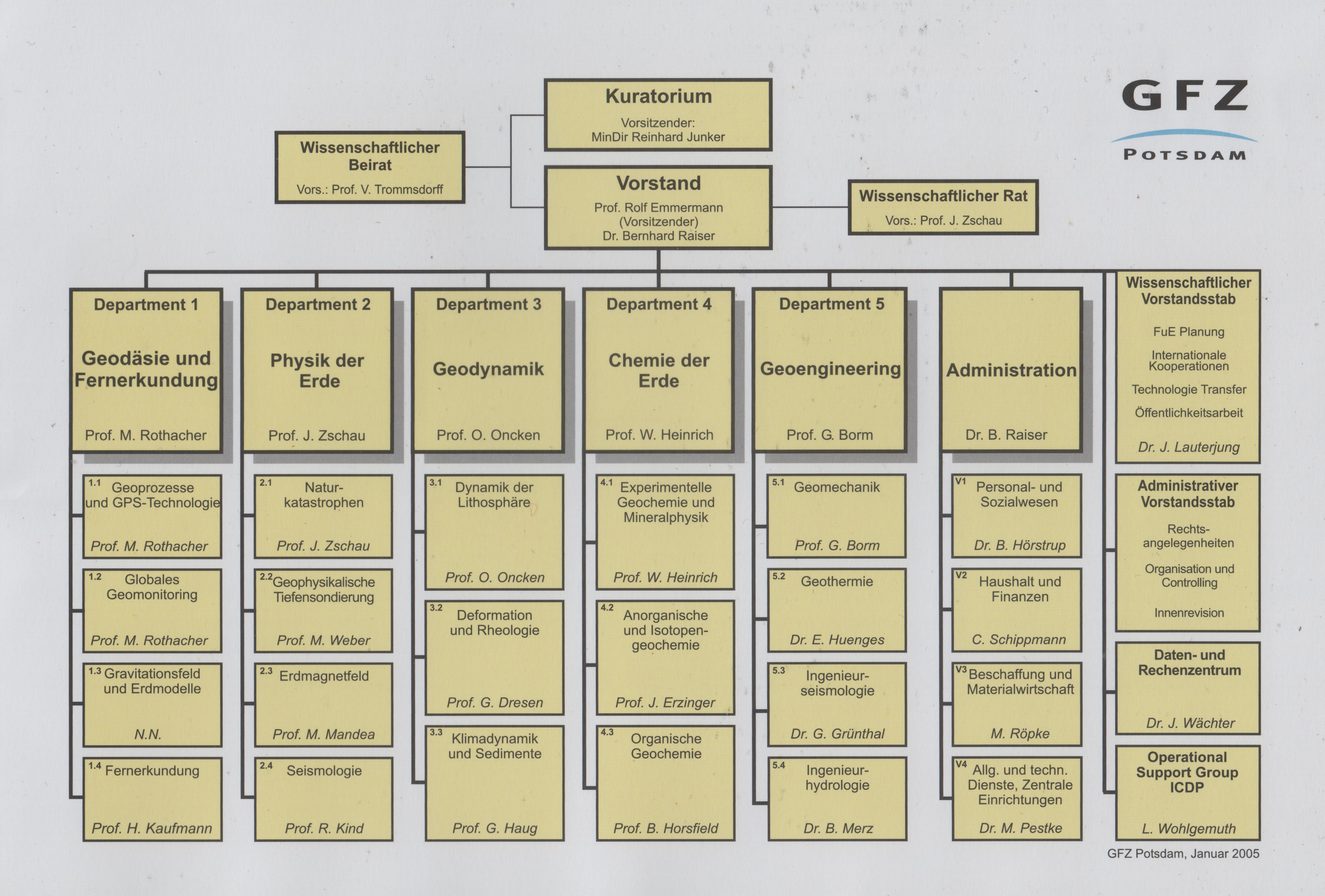
Layout:
Franz Braun, Melanie Wolter

Druck: Brandenburgische Universitätsdruckerei

14. überarbeitete Auflage, April 2005

Bildnachweis:

Alle Abbildungen GFZ Potsdam, außer Seite 3, 6/7: Lutz Hannemann;
Seite 8: Marie Tharp/ Günther Edelmann (GEO);
Seite 9: Holger Everling;
Seite 16, 44 o.l: A. Barbenko;
Seite 16/17: D. Sundermann;
Seite 25: Christian Heeb/LOOK;
Seite 37: Verlag Hetzel, Paris;
Seite 41: Barry Cragg, Cardiff University
Seite 42, 48 u.M.: Michael Wolf/Visum;
Seite 43: V. L. Sharpton



GFZ Potsdam, Januar 2005


GFZ
POTSDAM